



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ciencias Biológicas**

**Escuela Profesional de Ciencias Biológicas**

**Estado actual de la comunidad de invertebrados en  
lagunas empleadas como relaveras en zonas  
altoandinas de la región central del Perú**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de Biólogo con mención en  
Hidrobiología y Pesquería

**AUTOR**

Alan SALVATIERRA SEVILLANO

**ASESOR**

Liliana Del Rosario TAPIA UGAZ

Lima, Perú

2018



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Salvatierra, A. (2018). *Estado actual de la comunidad de invertebrados en lagunas empleadas como relaveras en zonas altoandinas de la región central del Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela Profesional de Ciencias Biológicas]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**  
(Universidad del Perú, Decana de América)

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**ACTA DE SESIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE  
BIÓLOGO CON MENCIÓN EN HIDROBIOLOGÍA Y PESQUERÍA  
(MODALIDAD: SUSTENTACIÓN DE TESIS)**

Siendo las 12:10 horas del 20 de diciembre de 2018, en el Salón de Grados de la Facultad de Ciencias Biológicas y en presencia del jurado formado por los profesores que suscriben, se dio inicio a la sesión para optar al Título Profesional de Biólogo con mención en **Hidrobiología y Pesquería** de **ALAN SALVATIERRA SEVILLANO**.

Luego de dar lectura y conformidad al expediente N° 071-EPCB-2017, el titulado expuso su tesis: **“ESTADO ACTUAL DE LA COMUNIDAD DE INVERTEBRADOS EN LAGUNAS EMPLEADAS COMO RELAVERAS EN ZONAS ALTOANDINAS DE LA REGIÓN CENTRAL DEL PERÚ”**, y el Jurado efectuó las preguntas del caso calificando la exposición con la nota 16, calificativo: Aprobado con mención honrosa.

Finalmente, el expediente será enviado a la Escuela Profesional de Ciencias Biológicas y al Consejo de Facultad para que se apruebe otorgar el Título Profesional de Biólogo con mención en **Hidrobiología y Pesquería** a **ALAN SALVATIERRA SEVILLANO** y se eleve lo actuado al Rectorado para conferir el respectivo título, conforme a ley.

Siendo las 14:30 horas se levantó la sesión.

Ciudad Universitaria, 20 de diciembre de 2018.

**Mg. IRIS SAMANEZ VALER**  
(PRESIDENTA)

**Mg. LILIANA TAPIA UGAZ**  
(ASESORA)

**Dra. ANA HUAMANTINCO ARAUJO**  
(MIEMBRO)

**Blgo. MAX HIDALGO DEL AGUILA**  
(MIEMBRO)

## **DEDICATORIA**

*Al esfuerzo investigador y autodidacta  
que todos desarrollamos sana y naturalmente*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Fondo para la Innovación, Ciencia y Tecnología (FINCyT) por haber financiado mi tesis, dentro del Proyecto: “Monitoreo y evaluación de la calidad del agua en cabecera de cuenca del Río Rímac, lagos y lagunas de la Región Central del Perú para determinar organismos indicadores y marcadores moleculares de contaminación por metales pesados”.

Al Vicerrectorado de Investigación y Postgrado (VRIP) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos que dentro de su programa de Subvención Financiera de Investigación (SFEI), financio la toma de muestras de mi proyecto de tesis.

A todos aquellos que me han apoyado durante este proceso de dos años, tanto profesional como personalmente, en Lima, Cerro de Pasco o desde algún lugar del país, ya que, han sido parte importante en esta experiencia.

## INDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN .....	10
II. ANTECEDENTES .....	12
2.1. Desarrollo minero y su problemática circunstancial en el Perú.....	12
2.2. Los invertebrados acuáticos en sedimento lacustre y su importancia como indicadores ambientales. ....	14
III. HIPÓTESIS .....	17
IV. OBJETIVOS .....	17
4.1. Objetivo General.....	17
4.2. Objetivos Específicos.....	17
V. MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
5.1. Área de estudio.....	18
- Cuenca del Mantaro .....	19
- Intercuenca del Alto Huallaga .....	19
5.2. Población y muestra .....	20
5.3. Descripción de las estaciones de muestreo .....	21
5.3.1 Laguna Huaroncocha .....	22
5.3.2 Relavera Milpo andina.....	26
5.3.3 Laguna Yanamate.....	31
5.4. Muestreo de la comunidad de invertebrados bentónicos.....	33
5.5. Caracterización fisicoquímica del agua .....	35
5.6. Concentración de metales pesados en agua y sedimento.....	35
5.7. Análisis de datos.....	36
5.7.1. Variabilidad temporal de la comunidad de invertebrados .....	36
a) Abundancia de individuos por estaciones de muestreo. ....	36
b) Estructura comunitaria de los invertebrados bentónicos .....	36
c) Análisis multivariados .....	36
5.7.2 Evaluación de calidad de lagunas: Índices de biodiversidad y bióticos.....	37
Diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) (Metrica simple).....	37
Índice Biótico Andino (ABI) .....	38
Índice de Monitoreo Biológico adaptado para Colombia (por sus siglas en inglés BMWP/Col).....	40
Puntaje Promedio por Taxon (por sus siglas en inglés ASPT) .....	41
VI. RESULTADOS.....	42
6.1 Parámetros de caracterización ambiental .....	42
6.2 Caracterización fisicoquímica del agua .....	45
6.3 Concentración de metales pesados en agua y sedimento.....	48
- Metales en Agua .....	48
- Metales en Sedimento.....	48
6.4 Variabilidad temporal de la comunidad de invertebrados .....	49
a) Composición de la comunidad de invertebrados bentónicos en las Lagunas evaluadas .....	49
b) Abundancia de individuos (N) por estaciones de muestreo .....	56
c) Estructura comunitaria de los invertebrados bentónicos .....	58
Índice de Diversidad de Shannon- Wiener ( $H'$ ).....	58
Índice de equidad de Pielou ( $J'$ ) .....	59
d) Análisis Multivariado .....	61
Análisis de Similitud (ANOSIM).....	61
Correlacion de Spearman entre las variables ambientales y las variables bióticas.....	69
6.5. Evaluación de calidad de lagunas: Índices de biodiversidad y bióticos.....	72
Índice Biótico Andino (por sus siglas en inglés ABI).....	74

Índice de Monitoreo Biológico adaptado para Colombia (por sus siglas en inglés BMWP/Col).....	74
Puntaje Promedio por Taxon (por sus siglas en inglés ASPT).....	76
VII. DISCUSIÓN .....	78
VIII. CONCLUSIONES .....	84
IX. RECOMENDACIONES .....	85
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	86
XI. ANEXOS.....	93
Anexo 1: Prueba Kruskal-Wallis para Abundancia de individuos (N) .....	93
Anexo 3: Análisis multivariado para Abundancia de individuos (N) .....	101
Anexo 4: Análisis de similitud porcentual (SIMPER) para Abundancia de individuos (N).....	103
Anexo 5: Familias de invertebrados bentónicos presentes en Laguna Huaroncocha y relavera Milpo Andina.....	108
Anexo 6: Caracterización fisicoquímica del agua.....	110
Anexo 7: Concentración de metales pesados .....	113
Anexo 8: Variación de la abundancia entre las estaciones de muestreo en (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017) .....	115

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1</b> Ubicación geográfica de lagunas monitoreadas en la Cuenca del Mantaro e Intercuenca Alto Huallaga. ....	18
<b>Tabla N° 2</b> Ubicación UTM de los puntos de muestreo en las tres lagunas muestreadas para la época de estiaje en Octubre 2015, setiembre 2016 y octubre 2017.....	21
<b>Tabla N° 3</b> Zonificación para el muestreo de réplicas de la comunidad de invertebrados bentónicos; modificado de Camefort, (1972). ....	33
<b>Tabla N° 4</b> Esquema de clasificación de la calidad de las aguas, de acuerdo a los valores del índice de Shannon-Wiener (H') (Segnini 2003).....	38
<b>Tabla N° 5</b> Clases y Valores de sensibilidad a la contaminación establecidos por el Índice Biótico Andino (Acosta et al. 2009) en el Perú.....	39
<b>Tabla N° 6</b> Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el Índice BMWP/Col (Roldán 2003).....	40
<b>Tabla N° 7</b> Clases de calidad del agua, valores del BMWP/Col, significado y colores para representaciones cartográficas (Roldán 2003). ....	41
<b>Tabla N° 8</b> Valores de ASPT y escala de calidad del agua (Galbrand et al. 2007).....	41
<b>Tabla N° 9</b> Principales parámetros de caracterización física por estaciones de muestreo de la Laguna Huaroncocha. Pasco, Provincia de Pasco, Perú. ....	42
<b>Tabla N° 10</b> Principales parámetros de caracterización física por estaciones de muestreo de Relavera Milpo Andina. Pasco, Provincia de Pasco, Perú. ....	42
<b>Tabla N° 11</b> Principales parámetros de caracterización física por estaciones de muestreo de la Laguna Yanamate. Pasco, Provincia de Pasco, Perú.....	43
<b>Tabla N° 12</b> Parámetros físicos químicos del agua en las estaciones de muestreo de Laguna Huaroncocha.....	46
<b>Tabla N° 13</b> Parámetros físicos químicos del agua en las estaciones de muestreo en la Relavera Milpo Andina....	47
<b>Tabla N° 14</b> Parámetros físicos químicos del agua en las estaciones de muestreo en la Laguna Yanamate. ....	47
<b>Tabla N° 15</b> Valores de Concentración de Cadmio y Arsénico registrados en las lagunas evaluadas para los muestreos (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017). ....	49
<b>Tabla N° 16</b> Lista taxonómica de la comunidad de invertebrados presentes en las lagunas Huaroncocha, Relavera Milpo Andina y Yanamate en los tres muestreos (2015, 2016 y 2017). ....	51
<b>Tabla N° 17</b> Abundancia relativa de la comunidad de invertebrados bentónicos presentes en las lagu Huaroncocha y Relavera Milpo Andina en los tres muestreos (2015, 2016 y 2017). ....	
<b>Tabla N° 18</b> Abundancia de individuos (N) promedio de invertebrados acuáticos en la Laguna Huaroncocha para los muestreos (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017). Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	56
<b>Tabla N° 19</b> Abundancia de individuos (N) promedio de invertebrados acuáticos en la Relavera Milpo Andina para los muestreos (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017). Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	57
<b>Tabla N° 20</b> Diversidad de Shannon-Wiener promedio de invertebrados bentónicos acuáticos en la Laguna Huaroncocha para los tres muestreos (2015, 2016 y 2017). Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	58
<b>Tabla N° 21</b> Diversidad de Shannon-Wiener promedio de invertebrados bentónicos acuáticos en la Relavera Milpo Andina para los tres muestreos (2015, 2016 y 2017). Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	59



<b>Tabla N° 22</b> Índice de Equidad de Pielou (J') promedio de invertebrados bentónicos acuáticos en Laguna Huaroncocha para los tres muestreos (2015, 2016 y 2017). Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	60
<b>Tabla N° 23</b> Índice de Equidad de Pielou (J') promedio de invertebrados bentónicos acuáticos en Relavera Milpo Andina para los tres muestreos (2015, 2016 y 2017). Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	62
<b>Tabla N° 24</b> Resumen de análisis de Similitud Porcentual (SIMPER) para oct-15, set-16 y oct-17. ....	62
<b>Tabla N° 25</b> Análisis de contribución de familias SIMPER en los puntos de muestreo de los Grupos 2015 (oct-15), Grupo 2016 (set-16) y Grupo 2017 (oct-17) en las tres lagunas evaluadas. Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	62
<b>Tabla N° 26</b> Correlación de Spearman entre los parámetros fisicoquímicos y la estructura comunitaria en Laguna Huaroncocha para los tres campañas. Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	70
<b>Tabla N° 27</b> Correlación de Spearman entre los parámetros fisicoquímicos y la estructura comunitaria en Relavera Milpo Andina para las tres campañas. Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	71
<b>Tabla N° 28</b> Diversidad de Shannon-Wiener promedio de invertebrados acuáticos y calidad del agua en estaciones de muestreo de la Laguna Huaroncocha, Relavera Milpo Andina y Laguna Yanamate para los muestreos (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017). Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	72
<b>Tabla N° 29</b> Valor de estado ecológico ABI utilizando macroinvertebrados acuáticos en las tres campañas de muestreo en Laguna Huaroncocha, Relavera Milpo Andina y Laguna Yanamate. Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	74
<b>Tabla N° 30</b> Valores del BMWP/ Col utilizando la macrofauna acuática y calidad del agua de Laguna Huaroncocha, Relavera Milpo Andina y Laguna Yanamate para los tres muestreos. Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	75
<b>Tabla N° 31</b> Valores del ASPT utilizando la macrofauna acuática y calidad del agua en la Laguna Huaroncocha, Relavera Milpo Andina y Laguna Yanamate para los tres muestreos. Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	77

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1</b> Ubicación Geográfica de las Estaciones de Muestreo en la Cuenca del Mantaro y en la Intercuenca del Alto Huallaga. (Fuente: Google Earth). ....	20
<b>Figura N° 2</b> Estación LHR-1*: Laguna Huaroncocha. Pasco, Provincia de Pasco, Perú. ....	22
<b>Figura N° 3</b> Estación LHR-2: Laguna Huaroncocha. Pasco, Provincia de Pasco, Perú. ....	23
<b>Figura N° 4</b> Estación LHR-3: Laguna Huaroncocha. Pasco, Provincia de Pasco, Perú. ....	24
<b>Figura N° 5</b> Estación LHR-4: Laguna Huaroncocha. Pasco, Provincia de Pasco, Perú. ....	24
<b>Figura N° 6</b> Estación LHR-5: Laguna Huaroncocha (al fondo: relavera construida a orillas de la laguna). Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	25
<b>Figura N° 7</b> Ubicación geográfica de las 5 estaciones de muestreo dentro de la Laguna Huaroncocha Pasco, Provincia de Pasco. Perú (Fuente: Google Earth). ....	26
<b>Figura N° 8</b> Estación RMP-1*: corriente de agua clara y fresca Relavera Milpo Andina. Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	27
<b>Figura N° 9</b> Estación RMP-2: Oct-15, parte media con aguas cristalinas aun. Relavera Milpo Andina. Pasco, Provincia de Pasco, Perú. ....	28
<b>Figura N° 10</b> Estación RMP-3: 3 tubos de vertimiento Relavera Milpo Andina. Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	29
<b>Figura N° 11</b> Estación RMP-4: punto más alejado de los puntos de vertimiento. Relavera Milpo Andina. Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	30
<b>Figura N° 12</b> Estación RMP-5: 2 tubos de vertimiento. Relavera Milpo Andina. Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	30
<b>Figura N° 13</b> Ubicación geográfica de las 5 estaciones de muestreo dentro de la Relavera Milpo Andina. Pasco, Provincia de Pasco. Perú (Fuente: Google Earth). ....	31
<b>Figura N° 14</b> Vista panorámica de la ubicación de las estaciones LYe -1*, LYe -2, LYe-3, LYe-4 y LYe-5: Laguna Yanamate. Pasco, Provincia de Pasco. Perú. ....	32
<b>Figura N° 15</b> Ubicación geográfica de las 5 estaciones de muestreo dentro de la Laguna Yanamate. Pasco, Provincia de Pasco. Perú (Fuente: Google Earth). ....	32
<b>Figura N° 16</b> (a). Zona de piedras, (b) Zona de sustrato bentónico sin plantas acuáticas y (c). Zona de plantas acuáticas sumergidas y emergentes. Imagen modificada de Camefort (1972). ....	34
<b>Figura N° 17</b> Datos históricos de precipitaciones promedio por año, para los muestreos octubre 2015, setiembre 2016 y octubre 2017. ....	44
<b>Figura N° 18</b> Histórico anual de precipitaciones mensuales (mm) usando la data disponible del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú- SENAMHI - Estación: Cerro de Pasco (2013 – 2018). ....	44
<b>Figura N° 19</b> Porcentaje de invertebrados bentónicos muestreados en Laguna Huaroncocha en octubre 2015, setiembre 2016 y octubre 2017. ....	54
<b>Figura N° 20</b> Porcentaje de invertebrados bentónicos muestreados en Relavera Milpo Andina en octubre 2015, setiembre 2016 y octubre 2017. ....	55
<b>Figura N° 21</b> Análisis no Paramétrico de Escalamiento Multidimensional (nMDS) por estaciones de muestreo para en la Laguna Huaroncocha y contribución de familias en porcentaje (Oct-15 (I), set-16 (II) y Oct-17 (III)). ....	64

<b>Figura N° 22</b> Análisis no Paramétrico de Escalamiento Multidimensional (nMDS) por estaciones de muestreo en la Relavera Milpo Andina y contribución de familias en porcentaje (Oct-15 (I), set-16 (II) y Oct-17 (III)). .....	64
<b>Figura N° 23</b> Resultado del Análisis Canónico de Correspondencias (ACC), mostrando la ubicación de las familias de invertebrados con respecto a las variables ambientales (a) y la localización de las estaciones de muestreo evaluadas en la Laguna Huaroncocha en Oct-15 (I), set-16 (II) y Oct-17 (III) (b) .....	66
<b>Figura N° 24</b> Resultado del Análisis Canónico de Correspondencias (ACC), mostrando la ubicación de las familias de invertebrados con respecto a las variables ambientales (a) y la localización de las estaciones de muestreo evaluadas en Relavera Milpo Andina en Oct-15 (I), set-16 (II) y Oct-17 (III) (b) .....	68

## RESUMEN

El objetivo principal del estudio fue caracterizar la comunidad de invertebrados bentónicos en la zona litoral de lagunas altoandinas de la región central del Perú y evaluar la respuesta al factor ambiental determinado por los metales tóxicos del drenaje ácido de mina. Se muestrearon un total de tres lagunas: Laguna Huarancocha, relavera Milpo Andina y Laguna Yanamate, realizando tres campañas anuales en la época de seca (otc-2015, set- 2016 y oct-2017), con cinco estaciones de muestreo en cada laguna. Se registraron parámetros fisicoquímicos como temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto *in situ* con un multiparametro y se registro metales pesados (Arsénico y Cadmio) en agua y sedimento. Para el muestreo de invertebrados bentónicos se aplicó el protocolo de muestreo y análisis de invertebrados bentónicos del Ebro de España, en donde se utiliza el método de recolección de tipo cuantitativo para las zonas de lagos y lagunas con replicas. Los resultados fisicoquímicos indican que las variables de mayor variación espacio-temporal en las lagunas estudiadas fueron en su orden conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH y temperatura. Concluyendo que la presencia de pH ácido, el incremento de metales pesados, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto influyen en la riqueza y abundancia de especies, caso de relavera Milpo Andina y laguna Yanamate. Se observó que durante los años evaluados se obtuvo mayor abundancia y riqueza de especies en la Laguna Huarancocha en la primera y tercera fecha de muestreo, en comparación al segundo muestreo. Esto puede deberse a la escasez de lluvia para ese año, disminución del nivel de agua e incremento de materia orgánica. Relavera Milpo Andina presento en la primera fecha de muestreo una mayor diversidad de organismos con una abundancia aceptable, sin embargo en el segundo y tercer muestreo se observó una baja en la diversidad de especies proporcional al incremento de metales pesados, presentando un mayor número de organismos resistentes a este tipo de contaminación como es el caso de la familia Chironomidae. En el caso de laguna Yanamate, no registró especies en ninguna de las fechas evaluadas, debido al grado de acidez de sus aguas y elevada concentración

de metales pesados en sedimento y agua, lo que imposibilita la biodiversidad y por ende la recuperación de este espejo de agua. En los tres muestreos realizados en relavera Milpo Andina, se puede observar como los grupos formados se alejan, mostrando una similaridad del 63%. Las estaciones RMp-3 y RMp-5 fueron las que mostraron mayor similaridad y las que estuvieron cerca de los puntos de contaminación mineros. Los índices de diversidad de Shanon-Wiener y de equidad de Pielou, al igual que el análisis multivariado ANOSIM y nMDS señalan diferencias significativas en las tres campañas. El Analisis Canonico de Correspondencia (ACC) para laguna Huaroncocha y relavera Milpo Andina mostro que el eje 1 y 2 presentan una alta variabilidad de la varianza total del 72,93% y 80,38%. Los índices biológicos evaluados mostraron aguas de calidad moderadamente poludida a fuertemente poludida (Indice Shannon-Wieneer), bueno a pésimo (ABI), aceptable a critica (BMWP/Col) y moderadamente pobre a pobre (ASPT).

**Palabra clave:** Invertebrados bentónicos, análisis multivariado, índices biológicos, lagunas altoandinas.

## **ABSTRACT**

The main objective of the study was to characterize the community of benthic invertebrates in the coastal zone of high Andean lagoons of the central region of Peru and to evaluate the response to the environmental factor determined by the toxic metals of the acid mine drainage. A total of three lagoons were sampled: Huarancocha lagoon, Milpo Andina lagoon and Yanamate lagoon, carrying out three annual campaigns in the dry season (oct-2015, set-2016 and oct-2017), with five sampling stations in each lagoon. Physicochemical parameters such as temperature, pH, conductivity and dissolved oxygen were recorded in situ with a multiparameter and heavy metals (Arsenic and Cadmium) were recorded in water and sediment. For the sampling of benthic invertebrates, the sampling and analysis protocol of benthic invertebrates of the Ebro of Spain was applied, where the quantitative type collection method is used for the areas of lakes and lagoons with replicas. . The physicochemical results indicate that the variables with the greatest spatio-temporal variation in the lagoons studied were electrical conductivity, dissolved oxygen, pH and temperature in their order. Concluding that the presence of acidic pH and the increase of heavy metals influence the richness and abundance of species, such as Milpo Andina lagoon and Yanamate lagoon. It was observed that during the evaluated season, greater abundance and richness of species was obtained in Laguna Huarancocha in the first and second sampling date, in comparison to the third sampling. This may be due to the shortage of rain, decrease in water level and increase in organic matter. Relavera Milpo Andina presented on the second sampling date a greater diversity of organisms with an acceptable abundance, however in the third sampling a decrease in the diversity of species was observed, proportional to the increase of heavy metals, presenting a greater number of resistant organisms to This type of contamination is the case of the Chironomidae family. In the case of Laguna Yanamate, it did not register any species on any of the evaluated dates, due to the degree of acidity of its waters and high concentration of heavy metals in sediment and water, which makes biodiversity impossible and therefore the recovery of this mirror Water. In the three samplings carried out in Milpo

Andina relavera, it can be observed how the three formed groups move away, showing a similarity of 63%, the RMp-3 and RMp-5 stations showed the greatest similarity and those that were near the contamination points miners. The Shanon-Wiener and equity indices of Pielou, as well as the multivariate analysis ANOSIM and nMDS, show significant differences in the three campaigns. The Canonical Correspondence Analysis (ACC) for Laguna Huaroncocha and relavera Milpo Andina showed that axis 1 and 2 present a high variability of the total variance of 72.93% and 80.38%. The biological indices evaluated showed waters of moderately polyvalent to strongly variable quality (Shannon-Wiener index), good to very bad (ABI), acceptable to criticism (BMWP / Col) and moderately poor to poor (ASPT).

**Keyword:** Benthic invertebrates, multivariate analysis, biological indices, high Andean lagoons.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua dulce es probablemente el recurso más importante de la humanidad (Guiller & Malmqvist, 1998). En nuestro país podemos encontrarlo principalmente en lagos y lagunas altoandinas, algunas de las cuales se encuentran sometidas a un creciente deterioro creado por las actividades antropogénicas como la minería. La historia documentada data que desde la conquista de Pizarro en 1535, hasta la actualidad, la explotación de minerales ha ido trascendiendo indiscriminadamente afectando ríos y lagunas por el vertido de relaves (Vick, 1995). En ese sentido resulta importante determinar el estado actual de estos ambientes acuáticos a nivel de comunidades bentónicas como un reflejo de los cambios químicos y físicos que genera esta actividad humana, de modo que se pueda caracterizar junto a los análisis químicos tradicionales el proceso de pérdida y/o recuperación de estos ecosistemas (Oscóz, 2006).

En el Perú la contaminación por minería está impactando negativamente los ecosistemas terrestres y acuáticos, de los que dependen las comunidades biológicas y centros poblados. En consecuencia, surgen los conflictos sociales debido a que las competencias de fiscalización ambiental a la minería en general continúan siendo deficientes tanto en aspectos administrativos como funcionales (asignación limitada de recursos económicos y logísticos, de equipos técnicos, de profesionales capacitados, y al desconocimiento de sus funciones y facultades) (MEM, 2016).

Esta investigación se realizó en tres lagunas altoandinas asociadas directamente al vertimiento de drenaje ácido de mina (*"acid mine drainage"*, DAM) ubicados en el departamento de Cerro de Pasco. Las lagunas se ubicaron en la Cuenca del Mantaro y la Intercuenca del Alto Huallaga. La evaluación se realizó a nivel de invertebrados de zona litoral, ya que entre los muchos grupos taxonómicos que pueblan las aguas epicontinentales son uno de los grupos más comúnmente utilizados (Birk et al., 2012; Johnson et al., 1993; Resh y Jackson, 1993), puesto que están expuestos, en un creciente número de casos, a mezclas de contaminantes durante todo su

ciclo o al menos durante algunas fases del mismo. Esto hace que presenten el potencial necesario como bioindicadores para la observación directa del conjunto de efectos de los contaminantes sobre los ecosistemas acuáticos.

En el Perú, los estudios sobre invertebrados bentónicos y su relación con los estados de conservación de lagunas altoandinas, se han venido realizando tanto en estudios de impacto ambiental como en investigaciones científicas, en donde son asociados a contaminación de tipo orgánica (Dejoux et al, 1991; Huamán et al., 2002; Chocano, 2005). Sin embargo, han sido poco abordados desde el punto de vista de la relación entre organismos y metales pesados de origen minero, solo se conocen estudios de lagunas de origen minero-medicinales (Chacon, 1972), aguas minerales (Zapata, 1973; Zapata, 1974) y de aguas contaminadas por metales de origen minero (Pacheco, 2004; Machacca 2013). Es por ello, que el principal aporte de esta tesis radica en conocer la forma de cómo esta actividad modifica la composición de invertebrados asociados al sedimento, de modo que en el futuro, esto sirva para el desarrollo de una herramienta de bioevaluación multimétrica para mejorar la gestión de recursos hídricos del país.



## II. ANTECEDENTES

### 2.1. Desarrollo minero y su problemática circunstancial en el Perú

En la actualidad existen 604 unidades mineras en explotación (MEN, 2016). Una breve revisión histórica de la minería en el Perú, nos data que desde tiempos pre-colombinos e incaicos se practicaba esta actividad para la extracción del oro y la plata, mediante métodos artesanales de reducción directa (fundición) en estructuras conocidas como “Huayrachiras” (donde se hace el viento). Períodos en los cuales la administración y manejo de los recursos minerales poseía una racionalidad social, ambiental y económica. Sin embargo, es a partir de la periodo de la Colonia (Agrícola, 1556) hasta nuestros tiempos, que hay un gran detrimento de la minería que ocasiona problemas sociales y ambientales. En parte, por el envenenamiento de las aguas con drenaje ácido de mina y otros desechos, y por el cambio de los métodos artesanales de pequeña escala (lampas, canaletas y bateas) a tecnologías de carácter industrial para el incremento de los volúmenes de extracción (maquinarias de succión), que alteran en forma negativa los ecosistemas terrestres y acuáticos. Ocasionando la disposición de relaves en las aguas, naturales lo que puede generar la formación de pequeñas lagunas biológicamente estériles. (Vick, 1995).

Los metales tóxicos del drenaje ácido de mina, tienen la capacidad de lixiviarse y generar nuevos compuestos por la disolución y oxidación de sus componentes minerales sulfurados (pirita, arsenopirita, calcopirita, entre otros sulfuros), en presencia del oxígeno, solución que afecta adversamente alguna función biológica de la comunidad biótica del sistema lacustre receptor. Por lo tanto, la falta de procesos de remediación ambiental, la no aplicación de tratamientos adecuados de estos pasivos (Aparicio *et al.*, 2014), y el creciente deterioro de los ecosistemas acuáticos, induce a la desaprobación social y ambiental de esta actividad.

Son diversos los impactos que reciben los ecosistemas acuáticos por acción minera. Los más significativos se producen por la disposición de desechos, escombros y relaves de las operaciones mineras en los sedimentos lacustres; por la disposición de los efluentes líquidos de mina que se han generado por la lixiviación y disolución en la producción de concentrado de tungsteno, cobre y otros metales comerciales (Machacca, 2013) y por la disposición de los desechos de aceite quemado, restos de lubricantes y otros contaminantes asociados a las operaciones.

Álvarez, Sotero, Brack y Ipenza (2011) refieren en su informe sobre la minería aurífera en Madre de Dios, que las actividades mencionadas en el párrafo anterior, forman una pluma de sedimento contaminado que avanza y cubre la superficie del sedimento lacustre natural, causando una disminución de oxígeno en la laguna. Una parte importante de estos desechos va al fondo y otro porcentaje queda en la columna de agua en forma de sólidos en suspensión (turbidez) el cual en altas concentraciones, podría disminuir la producción primaria del ecosistema acuático; aumentando la temperatura y reduciendo la entrada de luz para la fotosíntesis de las algas y de plantas acuáticas que forman parte de la cadena trófica. Todo esto sumado al vertimiento de desechos de hidrocarburos, genera un serio daño en estos ecosistemas. De igual forma, señalan que el transporte del sedimento invasor y el proceso de precipitación de sus partículas obstruyen las branquias de los peces, erosionan el fondo dañando zonas de alimentación, refugio y reproducción de la comunidad heterotrófica, enterrando áreas de refugio y fijación de los huevos de los peces e invertebrados bentónicos que forman parte de su red alimentaria.

Clarke (1993) señala que el incremento de la inestabilidad, uniformidad y disminución de riqueza de estos ambientes no solo los hace menos favorable en el área de operación sino que se extiende a lo largo del perímetro de la orilla de la laguna, de estos ecosistemas.

Al respecto Roldan (1992) da a entender que esto es causado por la dirección que toman las corrientes inducidas por el viento, por todo el perímetro litoral de la laguna, afectando los parámetros fisicoquímicos del agua y acumulando sustancias potencialmente tóxicas en las orillas de las lagunas.

## **2.2.Los invertebrados acuáticos en sedimento lacustre y su importancia como indicadores ambientales.**

Los invertebrados bentónicos (y especialmente los macroinvertebrados) son aquellos organismos que por su pequeño tamaño (0.3mm – 3mm) pueden ser retenidos en redes de malla de 125 a 300µm aproximadamente. Muestran una gran variedad de adaptaciones que les permiten adherirse a sustratos sumergidos de ecosistemas acuáticos naturales o artificiales, lo que los lleva a presentar una alta diversidad taxonómica y una gran variedad de adaptaciones morfológicas que influyen en su comportamiento para aprovechar eficazmente los recursos tróficos del medio; alimentándose de materia orgánica particulada en forma de fragmentos de plantas, algas, bacterias y detritus que es producido dentro del fondo o suministrado desde fuentes externas como la vegetación de orilla y/o ornitofauna propia del lugar (Guevara et al , 2006 ). Asimismo, se caracterizan por presentar distintas etapas del ciclo de vida, con etapas juveniles y adultas, en ambientes de agua y tierra, respectivamente. Los invertebrados acuáticos incluyen a moluscos (caracoles y almejas), crustáceos (camarones y cangrejos), algunas especies de gusanos (nematodos, planarias y anélidos), ácaros y un gran número de especies de insectos (larvas y adultos) (Hanson et al, 2010).

Entre las ventajas de trabajar con macroinvertebrados Zilli et al., (2005) destaca: 1) su naturaleza sedentaria, permite un análisis espacial de los efectos de las perturbaciones en el ambiente, 2) el tiempo de desarrollo de sus ciclos de vida puede variar desde pocas semanas hasta varios años, permitiendo integrar los efectos de

contaminación en sus comunidades y poblaciones a corto y largo plazo, 3) son el enlace para incorporar la energía contenida en el sedimento, el cual tiende a acumular elementos tóxicos, hacia los diversos niveles tróficos, 4) sensibilidad a elevados valores de contaminación de agua y sedimento por actividades industriales o mineras, 5) muchos invertebrados dulceacuícolas procesan las partículas orgánicas más densas que se hunden y proveen alimento para peces y otros invertebrados acuáticos. Sirviendo de alimento para animales terrestres, como arañas, aves y murciélagos.

Alba (2005) refiere que los indicadores de calidad biológica basados en los invertebrados bentónicos están menos desarrollados en lagos, lagunas y humedales. Siendo los macroinvertebrados de los fondos (oligoquetos y quironómidos) los más usados como indicadores de eutrofia y oxigenación del hipolimnion, principalmente en embalses donde la comunidad litoral está poco representada debido a la fluctuación del nivel del agua. Además, en el caso de lagos y lagunas considera más adecuado evaluar la comunidad litoral para determinar el estado ecológico ya que refleja no solo las presiones relacionadas con la calidad del agua y el estado trófico sino también las presiones hidromorfológicas. En base a esta información es que la toma de muestras se realizó en la zona litoral de las lagunas.

Los efectos de la contaminación sobre los invertebrados bentónicos en ecosistemas acuáticos están ampliamente estudiados en Europa y Estados Unidos (Pavé & Marchese, 2005). En América del Sur la aplicación de estos índices se ha desarrollado principalmente en cuerpos de agua lóticos de la zona neotropical (Figueroa, Valdovinos, Araya y Parra, 2003).

En el Perú, la información que se tiene sobre el estudio de invertebrados bentónicos en ambientes lenticos (lagos, lagunas, etc.) es escasa. Chocano (2005) realizó un estudio en laguna Aguascancha, ubicada en el distrito de Paucartambo en Pasco,

determinando que los invertebrados estuvieron distribuidos en tres Phyla (Annelida, Arthropoda, Mollusca) y 6 órdenes. Iannacone, Mansilla y Ventura (2003) realizaron un estudio de los invertebrados en la laguna de Puerto Viejo en Lima, determinando que las taxas más dominantes son *Melanoides tuberculata* (59,36 %), *Chironomus* sp. (23,21 %) y *Heleobia cumingi* con (16,14 %).

Los invertebrados que han recibido más atención en los estudios bentónicos de sustrato blando en lagos y lagunas, son los oligoquetos y los quironómidos (Armitage, Cranston & Pinder, 1995). A los demás componentes bentónicos (hidrácaridos, nematodos, ostrácodos, briozoos, algunos dípteros) se les ha tomado poca importancia por su baja densidad o porque el muestreo no se ha hecho en forma adecuada, considerando que se encuentran en las orillas, lo que dificulta su muestreo por la heterogeneidad del hábitat a diferencia de las zonas más profundas (Prat y Rieradevall, 1998).

El agua dulce es el recurso más importante de la humanidad. En nuestro país podemos encontrarlo principalmente en lagos y lagunas altoandinas, algunas de las cuales se encuentran sometidas a un creciente deterioro creado por las actividades antropogénicas como la minería. En ese sentido resulta importante determinar el estado actual de estos ambientes acuáticos a nivel de comunidades bentónicas como un reflejo de los cambios químicos y físicos que genera esta actividad humana, de modo que se pueda caracterizar junto a los análisis fisicoquímicos tradicionales el proceso de pérdida y/o recuperación de estos ecosistemas (Oscóz, Campos y Escala, 2006).

### **III. HIPÓTESIS**

**Hipótesis de investigación (H<sub>i</sub>):** El producto de las actividades antrópicas mineras (Relaves), provocan cambios en las características fisicoquímicas de las lagunas, afectando la calidad de las aguas. La cual, se expresa y se refleja en cambios en la composición y distribución de las comunidades de invertebrados bentónicos de los sistemas lacustres en estudio.

### **IV. OBJETIVOS**

#### **4.1. Objetivo General**

Evaluar la comunidad de invertebrados bentónicos en lagunas empleadas como relaveras en zonas altoandinas de la región central del Perú.

#### **4.2. Objetivos Específicos**

- Describir la variabilidad temporal de las comunidades de invertebrados bentónicos en las lagunas Huaroncocha, Yanamate y Relavera Milpo andina.
- Determinar los parámetros que influyen en la dinamica comunitaria de invertebrados bentónicos.
- Determinar la condición de calidad de las lagunas mediante índices bióticos y de diversidad.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Área de estudio

Este trabajo de investigación forma parte del proyecto FINCyT: “Monitoreo y evaluación de la calidad del agua en cabecera de cuenca del Rio Rímac, lagos y lagunas de la Región Central del Perú para determinar organismos indicadores y marcadores moleculares de contaminación por metales pesados”. En el trabajo mencionado se muestrearon un total de 17 lagunas, de las cuales solo tres fueron consideradas en esta tesis (Laguna Huaroncocha, Relavera Milpo Andina y Laguna Yanamate), por estar cercanas a zonas de actividad minera. Las lagunas fueron georreferenciadas según el sistema de coordenadas sexagesimal (Datum WGS 84). Ver Tabla N° 1

**Tabla N° 1** Ubicación geográfica de lagunas de estudio en la Cuenca del Mantaro e Intercuenca Alto Huallaga.

Cuenca	Lagunas	Altura (m)	Ubicación Geográfica UTM 18L	
Cuenca del Mantaro	Laguna Huaroncocha	4 591	341952.85 E	8778396.19 S
	Laguna Yanamate	4 347	363578.83 E	8815481.28 S
Intercuenca Alto Huallaga	Relavera Milpo Andina	4 026	366592.87 E	8825545.91 S

**Fuente:** Elaboracion propia.

Los sistemas lacustres seleccionados del muestreo mencionado en el párrafo anterior, se ubican en el departamento de Cerro de Pasco, emplazados en la Cuenca del Mantaro entre los paralelos 10°34' y 13°35' de latitud Sur y entre los meridianos 73°55' y 76°40' de longitud Oeste, y la Intercuenca Alto Huallaga, por encima de los 4000m.s.n.m. Los criterios de elección de las lagunas muestreadas fueron su accesibilidad y exposición al drenaje ácido de mina (verificado en campo). Según estos análisis preliminares se decidió trabajar con la laguna Huaroncocha (laguna control), Relavera Milpo Andina (Medianamente contaminada) y la laguna Yanamate – Relavera (fuertemente contaminada), las cuales forma parte de la vertiente Atlántica del sistema andino (ANA, 2010).

- **Cuenca del Mantaro**

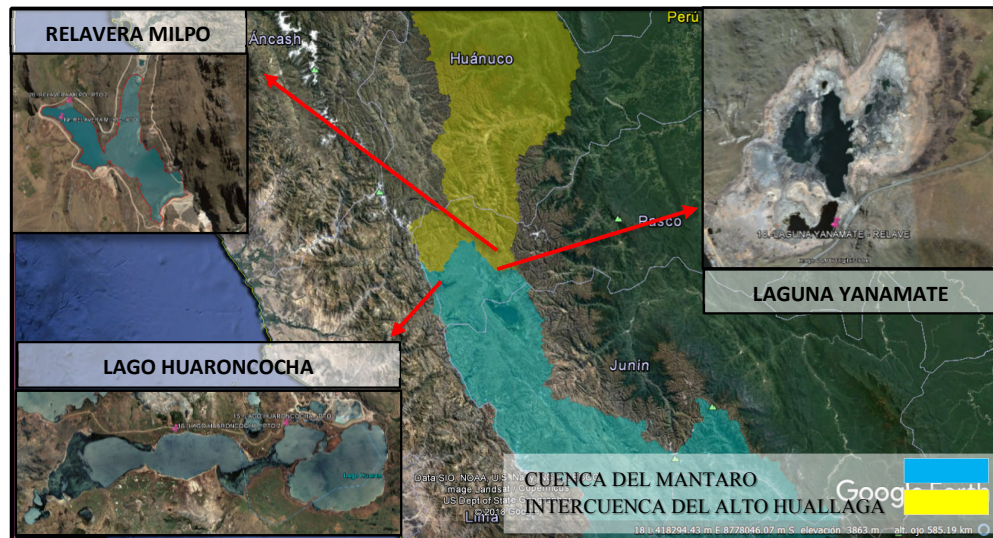
Geográficamente se ubica entre los 10° 30' a 13° 30' de Latitud Sur y entre los 74° 00' a 76° 30' de Longitud Oeste, abarcando los departamentos de Pasco, Junín, Huancavelica y Ayacucho, ocupando las provincias de Pasco, Junín, Yauli, Jauja, Concepción, Huancayo, Tayacaja, Huancavelica, Acobamba, Angaraes, Huanta y Huamanga. Las zona de vida abarcadas para las lagunas de la cuenca del Mantaro (Lagunas Quilacocha y Laguna Yanamate) corresponde a paramo muy húmedo Subalpino Tropical (pmh-SaT), el cual se caracteriza por una biotemperatura media anual de 6°C y una media anual mínima de 3.8°C, con un promedio de precipitación total por año de 1254.8mm. La Laguna Huaroncocha, ubicada en esta misma cuenca, le corresponde la zona de tundra pluvial Alpino Tropical (tp-AT) cuyo clima superhúmedo-muy frio puede alcanzar temperaturas media anuales entre 3°C y 1.5°C; con promedio anual de precipitación pluvial total variable desde 500 hasta 1000 mm. Los recursos hídricos de la cuenca del Mantaro, a diferencia de otras cuencas de la costa del Perú, tienen uso mayoritariamente energético, agrícola, poblacional y minero y no es deficitario; sin embargo no se utilizan adecuadamente por falta de infraestructura de regulación y de riego en general, y por la contaminación de las aguas del río Mantaro. Un problema especial que afronta los recursos hídricos del río Mantaro es su contaminación por actividades mineras, que hasta la fecha no tiene solución y causa conflictos permanentes. (ONERN 1982). Ver Tabla N° 1

- **Intercuenca del Alto Huallaga**

La Intercuenca del alto Huallaga, se extiende desde sus nacientes a la altura de Cerro de Pasco, hasta el pueblo de Ambo. Tiene una extensión de 1,582.3 km<sup>2</sup>, con una longitud de cauce de 83 kms. La línea de cumbres de la subcuenca bordea los 4,800 m.s.n.m. y desciende a 3,200 m.s.n.m. en su extremo inferior. El fondo del cauce está entre 200 y 1,200 m, por debajo de la línea de cumbres. La pendiente promedio del cauce es de 2.8 por ciento que baja de los



4,400 a 2,850 m.s.n.m. La zona de vida abarcada para la laguna en estudio Relavera Milpo (459m<sup>2</sup> aprox.), corresponde a paramo pluvial Subalpino Tropical, con precipitación pluvial alta, temperaturas promedio bajas entre 3°C y 6°C. Esta formación reviste gran importancia desde el punto de vista hidrológico y se estima que más del 75% de toda la precipitación se elimina de esta superficie por escorrentía (ONERN 1982). Ver Figura N° 1



**Figura N° 1** Ubicación Geográfica de las Estaciones de Muestreo en la Cuenca del Mantaro y en la Intercuenca del Alto Huallaga. (Fuente: Google Earth).

## 5.2. Población y muestra

Los muestreos fueron anuales, siendo un total de tres muestreos (octubre 2015, setiembre 2016 y octubre 2017). Se realizó a final de la época seca, momentos en los cuales la precipitación es escasa y donde se espera encontrar una comunidad más estable y una mayor abundancia de organismos bentónicos.

Todos los posibles sustratos de las lagunas fueron muestreados, estableciendo cinco (05) estaciones de muestreo en cada laguna con cinco (05) replicas (ver Tabla N° 2). Para definir los puntos de muestreo se consideraron diversos aspectos, tales como la

variabilidad espacial, naturaleza geológica, características físicas como altura, pendiente, afluentes, actividades de la cuenca, grados de intervención antrópica (minería), accesibilidad al lugar, comportamiento fisicoquímico, entre otros (Hauer & Lamberti, 1996; Norris & Hawkins, 2000).

**Tabla N° 2** Ubicación UTM de los puntos de muestreo en las tres lagunas muestreadas para la época de estiaje en Octubre 2015, setiembre 2016 y octubre 2017.

CUENCA	CUERPO DE AGUA	LOCALIDADES DE MUESTREO	ALTITUD (MSNM)	ESTE	NORTE
Cuenca del Mantaro	Laguna Huaroncocha	LHr-1*	4593	343342	8779288
		LHr-2	4592	343343	8779135
		LHr-3	4592	343344	8779125
		LHr-4	4591	343344	8779135
		LHr-5	4591	343345	8779145
	Laguna Yanamate	LYe -1*	4214	363130	8814992
		LYe -2	4274	363068	8815045
		LYe-3	4274	363070	8815005
		LYe-4	4274	363078	8815000
		LYe-5	4274	363088	8814995
Intercuenca Alto Huallaga	Relavera Milpo Andina	RMp-1*	4026	366592	8825545
		RMp-2	4020	366593	8825544
		RMp-3	4025	366595	8825540
		RMp-4	4025	366590	8825538
		RMp-5	4026	366593	8825535

\*: Sitios de control

**Fuente:** Elaboracion propia.

### 5.3. Descripción de las estaciones de muestreo

En la elección de las 15 estaciones de muestreo se consideraron distintos grados de alteración, estableciendo 3 de ellas como sitios de “control”, es decir, sin o con muy poca intervención y a 12 de ellas como sitios de “estudio”, con algún nivel de impacto. La selección de las localidades de referencia se realizó utilizando la metodología propuesta por De la Fuente (2007), que considera identificar estaciones en la zona litoral de los cuerpos de agua donde los aportes aloctonos son siempre abundantes por el cambio de nivel de sus orillas (que origina una rápida sedimentación) (Rieradevall, 1998), provocando una diversidad de hábitats existente y de los posibles impactos antrópicos existentes que van desde actividades agrícolas,

ganaderas y mineras en el lago y zonas circundantes. Esta caracterización debe incluir: tipo de sustrato mineral y vegetal, profundidad, tipo de vegetación de orilla, etc. Para este estudio, la incorporación o exclusión de una localidad de muestreo se determinó de acuerdo a la gravedad del impacto producido por las actividades mineras. Es decir, si el impacto producido por actividad minera es grave, no puede ser considerada como de referencia. (Acosta et al., 2009).

### 5.3.1 Laguna Huaroncocha

**LHr-1\*:** Se caracterizó por poseer una orilla arenosa y fondo con densa vegetación de tipo acuática con el predominio de especies como *Myriophyllum quitense*. y *Elodea potamogeton*, cuyas ramas se mezclan profusamente abarcando casi el 100% del fondo lacustre. El tipo de agua correspondió a traslucida con fondo areno fangoso formado por una mezcla de arena y materia orgánica. Localizada en la parte sureste de la laguna, colindante a vegetación de montaña propia de la zona altonadina. Se evidencio excretas de animales de pastoreo. Ver **Figura N° 2**



**Figura N° 2** Estación LHr-1\*: Laguna Huaroncocha. Pasco, Provincia de Pasco, Perú.

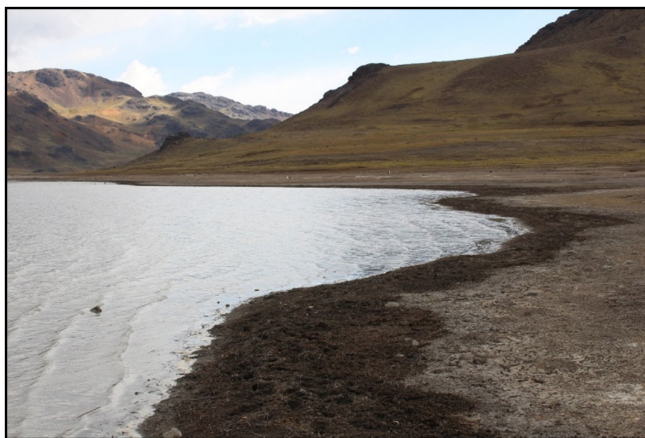
**LHr-2:** ubicada a 100m de una pequeña quebrada de agua. La orilla es arenosa y su fondo se encuentra representado por *Myriophyllum quitense* y *Elodea potamogeton*, cuyas ramas se mezclan profusamente, donde se pudieron observar algunos peces. El tipo de agua correspondió a traslucida, debido a su quietud y poca turbulencia superficial por acción de vientos. La estación de muestreo se encuentra localizada en la parte suroeste de la laguna, frente al punto LHr-4. Durante el estudio se evidencio excretas de animales de pastoreo. Ver **Figura N° 3**



**Figura N° 3** Estación LHr-2: Laguna Huaroncocha. Pasco, Provincia de Pasco, Perú.

**LHr-3:** Se caracterizó por presentar sustrato areno-fangoso en la orilla, sin embargo los vientos fuertes volvían turbias las aguas en los tres muestreosevaluadas. Su fondo contenía en su recorrido paquetes naturales de las comunidades de los Oconales o turberas de *Distichia* y comunidad de hidrófitas (detritus) que abarcaban el 80% del fondo lacustre. La estación de muestreo se encuentra localizada en la parte oeste de la laguna, la cual se encuentra aledaña a poaceas como *Stipa ichu*. Este punto se encuentra a 700 metros de un centro poblado, en donde se encuentra un sendero por donde transitan los pobladores, evidenciando residuos solidos como bolsas plásticas, vidrios rotos, etc. En este punto se realiza pesca solo de consumo. Ver **Figura N° 4**





**Figura N° 4** Estación LHR-3: Laguna Huaroncocha. Pasco, Provincia de Pasco, Perú.

**LHR- 4:** Se caracterizó por presentar escasa vegetación en la orilla, distribuida en parches, de fondo arenoso con indicios de materia orgánica y expuesto en los dos primeros metros. La zona de muestreo no presento plantas acuáticas durante los tres muestreo. Sin embargo el agua en este punto era cristalina y dejaba ver el fondo. La estación de muestreo se encuentra localizada en la parte noroeste de la laguna y a 100 metros de la Carretera Huaral. Durante el segundo muestreo se observó algunos restos de desechos inorgánicos (bolsas plásticas, vidrios rotos, etc), debido a la cercanía con la carretera y algunas personas foráneas ocasionales que ingresan a sus orillas a realizar pesca deportiva. Ver **Figura N° 5**



**Figura N° 5** Estación LHR-4: Laguna Huaroncocha. Pasco, Provincia de Pasco, Perú

**LHr-5:** Se ubica a 350m de los depósitos de relave de la Unidad Minera Chúngar – Volcán. Se caracterizó por poseer una orilla de canto rodado y fondo arcilloso-rocoso con escasa vegetación de tipo acuática en los cinco primeros metros del fondo lacustre, continuando finalmente con el fondo fangoso descrito anteriormente. A pesar de estar cerca de un depósito de relave, el tipo de agua correspondió a traslucida observándose en la quietud de las aguas algunos inverterbados nadadores en las tres muestreos. Se encuentra localizada en la parte oeste de la laguna, aladaña a una pequeña piscigranja de menor escala y para consumo local. Durante el estudio se evidencio solo excretas de animales de pastoreo. Ver **Figura N° 6**



**Figura N° 6** Estación LHr-5: Laguna Huaroncocha (al fondo: relavera construida a orillas de la laguna). Pasco, Provincia de Pasco. Perú.



**Figura N° 7** Ubicación geográfica de las 5 estaciones de muestreo dentro de la Laguna Huaroncocha Pasco, Provincia de Pasco. Perú (Fuente: Google Earth).

### 5.3.2 Relavera Milpo andina

**RMp-1\*:** Punto de muestreo control de regulares condiciones durante los tres muestreos. Se caracteriza por ubicarse aguas debajo de una de las dos quebradas provenientes de pequeñas corrientes de agua clara, que discurre en el substrato formado por una mezcla de tierra, materia orgánica, vegetación de césped de puna y comunidades hidrofitas que forman parte de la orilla. La estación de muestreo se encuentra localizada en la parte oeste de la laguna, a 30 metros de la Av. Prolongación Los Próceres S/N. Durante el estudio se evidenció el impacto de las personas y de las escorias de minería, al observar in situ restos de materiales de gasfitería y albañilería (tubos pvc, sementó seco, etc.), además de otros desechos inorgánicos (bolsas plásticas, vidrios rotos, etc.) y orgánicos. Sin embargo, al encontrarse aguas abajo de riachuelo sin vegetación ribereña que forme un área cerrada y tupida, se permitía que la luz penetre con más facilidad por

la dilución del material relavero en este punto de muestreo. Aparentemente en este lugar se practicaba pesca (hace 5- 10 años) y también hubo minería informal según comentarios de lugareños. Ver **Figura N° 8**.



**Figura N° 8** Estación RMp-1\*: corriente de agua clara y fresca Relavera Milpo Andina. Pasco, Provincia de Pasco. Perú.

**RMp-2:** Punto de muestreo de condiciones variables, se caracteriza por ubicarse a orillas de una pequeña extensión de tierra asentada de fácil acceso. El substrato está formado por una mezcla de tierra removida y comunidad de roquedales formados por *Oreomyrrhis andicola*, *Urtica flabellata*, *Lupinus andinus*, entre otras; que aprovechan las grietas para vivir todo el año favorecidos por la humedad de la orilla. Como en el caso anterior, esta estación de muestreo se encuentra localizada en la parte oeste de la laguna, a 19 metros de la Av. Prolongación Los Próceres S/N. Durante el estudio se evidenció el impacto de las personas, pero sobre todo del aumento sustancial de las escorias de minería, además de otros desechos inorgánicos (bolsas plásticas, vidrios rotos, etc) y orgánicos. De este modo, en el segundo y tercer muestreo evaluado la carga mineral se asentaba pesadamente desde el fondo a la superficie, impidiendo que la luz penetre con facilidad y eliminando permanentemente la



producción primaria. Como en el caso anterior, es posible que en este lugar se practicara pesca (hace 5- 10 años) y minería informal según comentarios de lugareños. Ver **Figura N° 9**



**Figura N° 9** Estación RMp-2: Oct-15, parte media con aguas cristalinas aun. Relavera Milpo Andina. Pasco, Provincia de Pasco, Perú.

**RMp-3:** Se caracteriza por ubicarse a 10 metros de los tubos de descarga de escorias mineras a orillas de la Relavera Milpo Andina. El sustrato está formado por una mezcla de tierra removida y comunidad de roquedales formados con predominancia de las familias Asteraceae y Poacea. Como en el caso anterior, esta estación de muestreo se encuentra localizada en la parte noroeste de la laguna y frente al punto RMp-2, en una planicie a 25 metros de la Av. Prolongación Los Próceres S/N. Durante el estudio se evidenció el impacto de las personas, pero sobre todo del aumento sustancial de las escorias de minería, además de otros desechos inorgánicos (bolsas plásticas, vidrios rotos, etc) y orgánicos. De este modo, el proceso de acumulación fue similar al punto RMp-2 en el segundo y tercer muestreo evaluado, sin perder de vista que la carga relavera supero el nivel de orilla al encontrarse muy cerca del efluente minero, impidiendo que la luz penetre con facilidad y eliminando

permanentemente la producción primaria de este punto de muestreo. Ver **Figura N° 10**.



**Figura N° 10** Estación RMp-3: 3 tubos de vertimiento Relavera Milpo Andina. Pasco, Provincia de Pasco. Perú.

**RMp-4:** Se caracteriza por ser el punto más alejado de los tubos de descarga minera a orillas del cuerpo de agua. El sustrato está formado por una mezcla de tierra removida y comunidad de Césped de puna donde predominan las especies graminiformes. Esta estación de muestreo se encuentra localizada en la parte sur de la laguna y cuesta debajo de la Av. Prolongación Los Próceres. Durante el estudio se evidenció el impacto de maquinaria pesada por remoción de tierras, pero sobre todo del aumento lento de las escorias de minería, además de otros desechos inorgánicos y orgánicos. Ver **Figura N° 11**.



**Figura N° 11** Estación RMp-4: punto más alejado de los puntos de vertimiento. Relavera Milpo Andina. Pasco, Provincia de Pasco. Perú.

**RMp-5:** Se caracteriza por ubicarse a 30 metros de los tubos de descarga de escorias mineras a orillas de la Relavera Milpo Andina. El sustrato está formado solo por comunidades de roquedales con predominancia de las familias Asteraceae y Poacea. Como en el caso de RMp-3, esta estación de muestreo se encuentra localizada en la parte noroeste de la laguna y frente a los puntos RMp-1\* y RMp-2. Durante el estudio se evidenció el impacto de las personas, pero sobre todo del aumento sustancial de las escorias de minería, además de otros desechos inorgánicos (bolsas plásticas, vidrios rotos, etc) y orgánicos. De este modo, el proceso de acumulación fue similar al punto RMp-3 en el segundo y tercer muestreo evaluado, sin perder de vista que el sedimento minero supero el nivel de orilla al encontrarse muy cerca del efluente minero, impidiendo que la luz penetre con facilidad y eliminando permanentemente el caudal ecológico de este punto de muestreo. Ver **Figura N° 12**.



**Figura N° 12** Estación RMp-5: 2 tubos de vertimiento. Relavera Milpo Andina. Pasco, Provincia de Pasco. Perú.



**Figura N° 13** Ubicación geográfica de las 5 estaciones de muestreo dentro de la Relavera Milpo Andina. Pasco, Provincia de Pasco. Perú (Fuente: Google Earth).

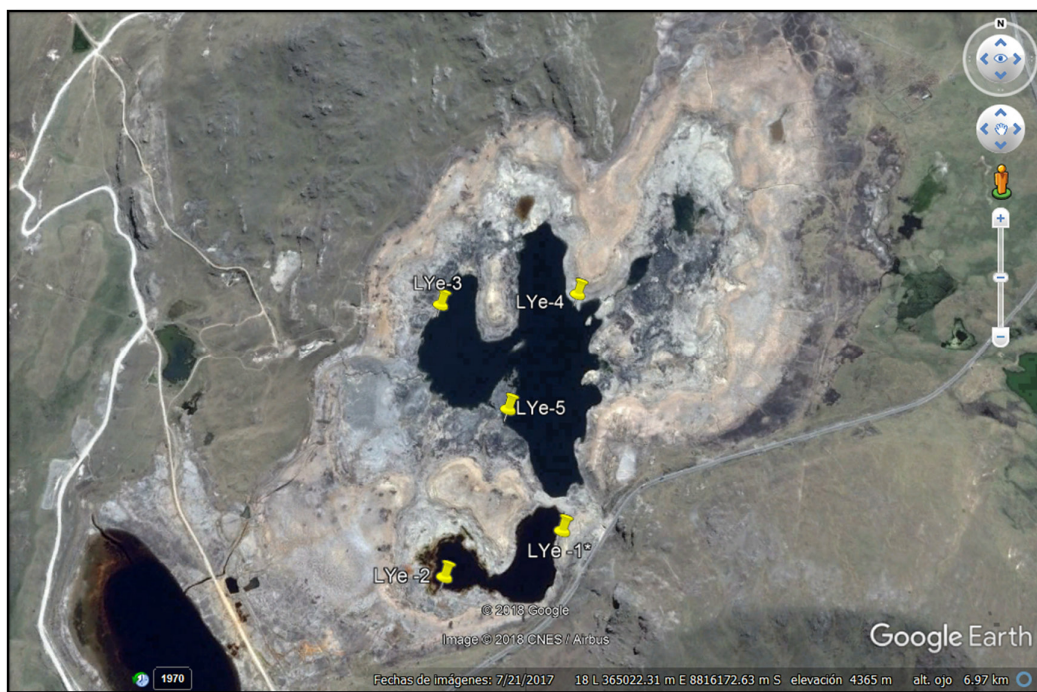
### 5.3.3 Laguna Yanamate

**LYe-1\*, LYe-2, LYe-3, LYe-4 y LYe-5:** Estaciones de pobres condiciones, se caracterizaron por presentar una mezcla de aguas acidas con sustrato proveniente de la molienda de los procesos de extracción del mineral. A los alrededores de los puntos de muestreo se observaron solamente individuos del género *Senecio L.* (Asteraceae-Senecioneae). Los niveles de agua se mantuvieron estables en las tres fechas estudiadas. Las estaciones de muestreo se encuentran ubicadas en todo el perímetro de la laguna y en la parte suroeste existe un tubo efluente de aguas acidas. Durante el estudio no se evidenciaron procesos de resiliencia y/o recuperación de organismos acuáticos, pero sí incremento del impacto antrópico por restos de desechos inorgánicos (bolsas plásticas, botellas de vidrio, llantas, etc) y orgánicos (aguas servidas). Ver **Figura N° 14 y 15.**





**Figura N° 14** Vista panorámica de la ubicación de las estaciones LYe -1\*, LYe -2, LYe-3, LYe-4 y LYe-5: Laguna Yanamate. Pasco, Provincia de Pasco. Perú.



**Figura N° 15** Ubicación geográfica de las 5 estaciones de muestreo dentro de la Laguna Yanamate. Pasco, Provincia de Pasco. Perú (Fuente: Google Earth).

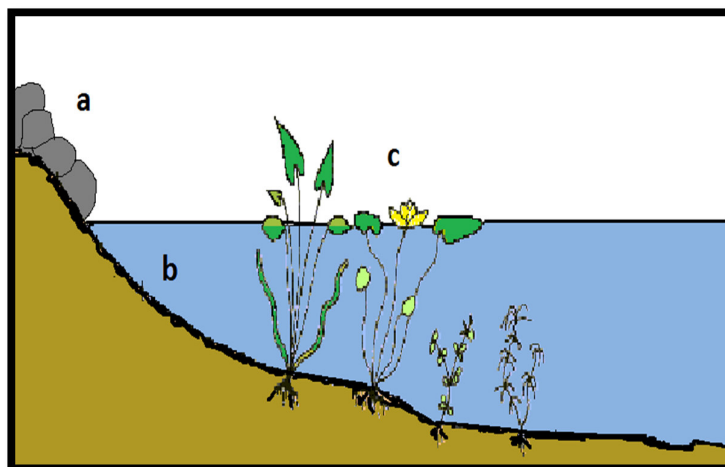
#### 5.4. Muestreo de la comunidad de invertebrados bentónicos

Se aplicó el Protocolo de Muestreo y análisis de Invertebrados Bentónicos de la Confederación Hidrográfica del Ebro de España (Alba et al, 2005), en donde se utiliza un método de recolección de tipo cuantitativo (con 5 réplicas por puntos de muestreo) para la zonas de lagos y lagunas.

Las réplicas de recolección del material biológico en cada punto de muestreo de las lagunas estuvo conformada por los invertebrados bentónicos ubicados según la siguiente zonificación: Ver Tabla N° 3 y Figura N°16.

**Tabla N° 3** Zonificación para el muestreo de réplicas de la comunidad de invertebrados bentónicos; modificado de Camefort, (1972).

REPLICA	ZONIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	a. Zona de piedras	Orilla del cuerpo de agua
2	b. Zona de sustrato bentónico sin plantas acuáticas	Constituido por el sedimento y el sustrato del cuerpo de agua.
3	c. Zona de plantas acuáticas sumergidas, emergentes y flotantes	Vegetación Emergente.- Comprendida por parte de la zona litoral de plantas anfibias o palustres, zona de plantas acuáticas hidrofitas emergentes arraigadas con hojas flotantes.
4		Vegetación Sumergida.- Comprendida por la zona de sustrato bentónico con o sin plantas acuáticas arraigadas totalmente sumergidas.
5		Vegetación flotante.- Comprendida por la zona con o sin plantas acuáticas libres, sumergidas y flotantes libres.



**Figura N° 16** (a). Zona de piedras, (b) Zona de sustrato bentónico sin plantas acuáticas y (c). Zona de plantas acuáticas sumergidas y emergentes. Imagen modificada de Camefort (1972).

El muestreo se realizó en el litoral de cada laguna en un área que abarco 100m<sup>2</sup>, con profundidades promedio de 1m, con una red de mano (D-net) moviéndola en forma de barrido sobre la vegetación y el fondo. La toma de muestras se completó con el dragado de sedimento, usando una draga de mano y un tamiz de acero para la limpieza previa en el campo, con la finalidad de extraer y seleccionar aquellos organismos adheridos y asociados al sustrato de la zona litoral (restos grandes de macrofitos o macroalgas). Seguidamente se procedió a lavar el material recolectado en mallas de 300 y 500 micras para eliminar el exceso de lodo facilitando la identificación y conservación del material. Adicionalmente se recogieron los organismos adheridos a piedras, vegetación y otros objetos que hubiera en el lugar. Las muestras se conservaron en alcohol al 96% en recipientes de plástico de 500ml debidamente rotulados, para evitar la acción de los carnívoros, especialmente de plecópteros (Perlidae), odonatos, heterópteros (népidos), coleópteros, tricópteros, megalópteros, entre otros. El alcohol de la muestra de campo se cambió por nuevo alcohol de 70%, al llegar al laboratorio.

En el laboratorio la identificación taxonómica se realizó hasta el nivel más bajo posible, presentando un inventario faunístico por cada muestreo con el fin de analizar la variación temporal. Se contabilizó el número total de individuos de cada taxón para cada periodo de estudio. Los organismos se almacenaron en viales de 5mL debidamente rotulados con alcohol al 70%. Finalmente, se cuantificó el número de organismos por taxón identificado con la ayuda de un estereoscopio y microscopio digital LEICA, creándose una matriz de datos para los análisis estadísticos correspondientes. La identificación en clases, órdenes y familias de invertebrados bentónicos se realizó de acuerdo a Domínguez y Fernández (2009), Roldán (1996), Merritt et al. (2008) y Borkent y Spinelli (2007). La identificación de subfamilias de Chironomidae, de acuerdo a Prat et al. (2011). La identificación de géneros de Ephemeroptera se hizo de acuerdo a Domínguez et al. (2009). La identificación de géneros de Trichoptera, de acuerdo a Huamantínco y Ortiz (2010). La identificación de géneros de Coleoptera, de acuerdo a Manzo (2005) y Manzo y Archangelsky (2008).

#### **5.5. Caracterización fisicoquímica del agua**

En cada una de las estaciones de muestreo se midieron *in situ* los parámetros fisicoquímicos: temperatura del agua, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH con un medidor multiparámetro Hanna (Modelo HI 98129). Todas las mediciones se realizaron en horas de la mañana antes de la toma de muestras biológicas.

#### **5.6. Concentración de metales pesados en agua y sedimento**

Como parte del monitoreo de calidad del agua se colectaron muestras de sedimento y agua para el análisis de los metales pesados (Cadmio y Arsénico). Las muestras de sedimentos se colectaron mediante dragado y se colocaron en bolsas de cierre hermético. Se transportaron en recipientes con hielo hasta su análisis en un laboratorio especializado. La concentración de metales pesados se determinó en un laboratorio acreditado por INDECOPI, mediante espectrofotometría de emisión por plasma basado en el EPA Method SW-84.



## **5.7. Análisis de datos**

### **5.7.1. Variabilidad temporal de la comunidad de invertebrados**

#### **a) Abundancia de individuos por estaciones de muestreo.**

La abundancia, así como la riqueza de invertebrados acuáticos, se determinó mediante el conteo directo de organismos por cada taxón identificado (Moreno, 2001) y aplicando el software Past 3.15- Current version (March 2017).

#### **b) Estructura comunitaria de los invertebrados bentónicos**

Se analizó la estructura comunitaria de invertebrados acuáticos según la zonificación planteada, mediante la aplicación de métricas comunitarias del Índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y el Índice de Equidad de Pielou ( $J$ ) considerando las cinco (05) réplicas tomadas en cada estación de muestreo, apoyadas de pruebas no paramétricas descriptivas para los datos, como lo sugieren Wantzen y Rueda (2009). Se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para "K" muestras independientes ( $p < 0,05$ ) para determinar si existen diferencias significativas entre los muestreos (temporal). Para estos análisis estadísticos se usó el software Past 3.15- Current version (March 2017).

#### **c) Análisis multivariados**

Para comprobar diferencias significativas temporales (entre las 3 fechas de estudio) se realizó el análisis de similitud (ANOSIM) ( $p < 0,5$ ) (Clarke, 1993), creando una matriz de similitud a partir del índice de Bray-Curtis como medida de similitud (Brower & Zar 1984). El cual fue complementado con un análisis de similitud Porcentual (SIMPER) para conocer los taxa que más influyen en los patrones comunitarios (Correa et al. 2010). Para analizar gráficamente los patrones de distribución espacial y temporal de las estaciones de muestreo se aplicó el método no paramétrico de Escalamiento Multidimensional (nMDS). Todos estos análisis se realizaron utilizando el software estadístico Past 3.x Current version (April 2018): 3.20.

Para determinar la relación entre las variables ambientales y las comunidades de invertebrados de las lagunas se realizó un Análisis Canónico de Correspondencias (ACC) utilizando el programa estadístico PAST (Hammer et al., 2001). Dicho análisis aportará información importante sobre el porcentaje de variabilidad de la comunidad de invertebrados bentónicos que puede ser explicado por el efecto de las variables ambientales.

Para el análisis fueron seleccionadas todas las familias que presentaron una abundancia relativa  $\geq 0\%$  a nivel de laguna. Mientras que las variables ambientales fueron estandarizadas y correlacionadas entre sí mediante el programa estadístico PRIMER V6, verificando aquellas variables con una elevada correlación (Spearman) incluyendo así información importante del análisis.

#### **5.7.2 Evaluación de calidad de lagunas: Índices de biodiversidad y bióticos**

Para caracterizar la calidad ambiental en las lagunas evaluadas en función de las estaciones de muestreo, se usaron cuatro métricas de bioindicación en función de las familias de las comunidades y poblaciones de los invertebrados identificados de los muestreos evaluados.

##### Diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) (Métrica simple)

El índice de diversidad de Shannon- Wiener permite enfocarse en los cambios de los patrones de riqueza y abundancia de especies como una manera de evaluar el impacto de los diferentes tipos de perturbaciones ambientales sobre las comunidades biológicas (Segnini 2003). Ver Tabla N° 4

**Tabla N° 4** Esquema de clasificación de la calidad de las aguas, de acuerdo a los valores del índice de Shannon- Wiener ( $H'$ ) (Segnini 2003).

$H'$ (LOG2)	CALIDAD DEL AGUA
>3	Limpia
1-3	Moderadamente poluida
<1	Fuertemente poluida

#### Índice Biótico Andino (ABI)

Es una propuesta de índice biótico cualitativo usado para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental y estudios ecológicos (Acosta et al., 2009); este índice es una adaptación del BMWP (Biological Monitoring Working Party) para ríos de la zona de los andes con altitudes mayores a 2000 msnm, que cuenta con una lista taxonómica de invertebrados bentónicos para esta zona (Prat et al., 2011).

El ABI asigna un valor de sensibilidad a la contaminación a cada familia, de esta manera al encontrar una cantidad específica de familias el valor final de este índice será la sumatoria de los valores de sensibilidad (Rosero, 2007). Ver **Tabla N° 5**.

Para la aplicación de este índice se debe realizar un muestreo multihábitat en campo, no se pueden usar datos de un solo tipo de hábitat debido que la intención es obtener la representación de casi todo el área de estudio y el muestreo debe de seguir hasta no encontrar nuevas familias (Acosta et al. 2009).

**Tabla N° 5** Clases y Valores de sensibilidad a la contaminación establecidos por el Índice Biótico Andino (Acosta et al. 2009) en el Perú.

Amphipoda	Hyalellidae	6		Veliidae	5
Bivalvia	Sphaeriidae	3		Gerridae	5
Coleoptera	Ptilodactylidae	5	Heteroptera	Corixidae	5
	Lampyridae	5		Notonectidae	5
	Psephenidae	5		Belostomatidae	4
	Scirtidae (Helodidae)	5		Naucoridae	5
	Staphylinidae	3			3
	Elmidae	5	Hirudinea		
	Dryopidae	5	Hydracarina	Acari	4
	Gyrinidae	3	Lepidoptera	Pyralidae	4
	Dytiscidae	3	Odonata	Aeshnidae	6
	Hydrophilidae	3		Gomphidae	8
	Hydraenidae	5		Libellulidae	6
	Blepharoceridae	10		Coenagrionidae	6
	Simuliidae	5		Calopterygidae	8
	Tabanidae	4		Polythoridae	10
Diptera	Tipulidae	5	Oligochaeta		1
	Limoniidae	4	Ostracoda		3
	Ceratopogonidae	4	Plecoptera	Perlidae	10
	Dixidae	4		Gripopterygidae	10
	Psychodidae	3	Trichoptera	Helicopsychidae	10
	Dolichopodidae	4		Calamoceratidae	10
	Stratiomyidae	4		Odontoceiridae	10
	Empididae	4		Leptoceridae	8
	Chironomidae	2		Polycentropodidae	8
	Culicidae	2		Hydroptilidae	6
	Muscidae	2		Xiphocentronidae	8
	Ephydriidae	2		Hydrobiosidae	8
	Athericidae	10		Glossosomatidae	7
	Syrphidae	1		Hydropsychidae	5
	Baetidae	4		Anomalopsychidae	10
	Leptophlebiidae	10		Philopotamidae	8
	Leptohyphidae	7		Limnephilidae	7
	Oligoneuridae	10	Turbellaria		5
Ephemeroptera					
Gasteropoda	Ancylidae	6	ABI	CALIDAD	COLOR
	Physidae	3	>74	Muy Bueno	Azul
	Hydrobiidae	3	45-74	Bueno	Verde
	Limnaeidae	3	27-44	Moderado	Amarillo
	Planorbidae	3	<27	Malo	Naranja
			<11	Pésimo	Rojo

Índice de Monitoreo Biológico adaptado para Colombia (por sus siglas en inglés BMWP/Col)

Se analizó el índice BMWP/Col considerando la entomofauna acuática para determinar la calidad del agua en las estaciones de muestreo. Este índice combina el número total de taxa con un valor de tolerancia, el nivel taxonómico mínimo requerido es el de Familia y el valor final se obtiene por la sumatoria de los valores de tolerancia de cada una de las familias (Roldán 2003).

Ver **Tabla N° 6** y **Tabla N° 7**

**Tabla N° 6** Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el Índice BMWP/Col (Roldán 2003).

<b>FAMILIA</b>	<b>PUNTAJES</b>
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Ampullariidae, Dyticidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae	7
Aeshnidae, Ancyidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sallidae, Staphylinidae	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeriidae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae	4
Ceratopogonidae, Glossophoniidae, Cyclobdellidae, Hydrphilidae, Physidae, Tipulidae	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae	2
Tubificidae	1

**Tabla N° 7** Clases de calidad del agua, valores del BMWP/Col, significado y colores para representaciones cartográficas (Roldán 2003).

CLASE	CALIDAD	BMWP/COL	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	101 - >150	Aguas muy limpias // Aguas no contaminadas o poco alteradas	Azul
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas Se evidencia efectos de la contaminación	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Critica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy critica	<15	Aguas fuertemente contaminadas /situación critica	Rojo

#### Puntaje Promedio por Taxon (por sus siglas en inglés ASPT)

Se analizó el índice ASPT considerando la entomofauna acuática para determinar la calidad del agua en las estaciones de muestreo. Este índice representa la tolerancia promedio de los taxa dentro de la comunidad, el nivel taxonómico mínimo requerido es el de Familia y el valor final se obtiene por la división del valor de BMWP/Col y el número total de familias en la muestra (Galbrand et al. 2007). Ver **Tabla N° 8**

**Tabla N° 8** Valores de ASPT y escala de calidad del agua (Galbrand et al. 2007).

CLASE	CALIDAD	BMWP/COL	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	8 - >10	Aguas muy limpias // Aguas no contaminadas o poco alteradas	Azul
II	Aceptable	6.5 – 7.9	Aguas ligeramente contaminadas Se evidencia efectos de la contaminación	Verde
III	Dudosa	4.5 – 6.4	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Critica	3 – 4.4	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy critica	1 – 2.9	Aguas fuertemente contaminadas /situación critica	Rojo

## VI. RESULTADOS

### 6.1 Parámetros de caracterización ambiental

A nivel de todas las estaciones de muestreo no se apreciaron diferencias notables en los parámetros físicos, entre los muestreos octubre 2015, setiembre 2016 y octubre 2017. Sin embargo en los puntos de muestreo de la Relavera Milpo Andina se observaron marcadas diferencias con respecto a la profundidad media (m) y turbidez. Los resultados obtenidos están resumidos en la **Tabla N°9**, **Tabla N°10** y **Tabla N°11**,

**Tabla N° 9** Principales parámetros de caracterización física por estaciones de muestreo de la Laguna Huaroncocha. Pasco, Provincia de Pasco, Perú.

Laguna Huaroncocha					
	LHr-1*	LHr-2	LHr-3	LHr-4	LHr-5
Primer muestreo : Octubre 2015					
Área(m <sup>2</sup> )	6	5	5	6	6
Prof. Media(m)	1.45	0.8	0.46	1.7	0.70
Turbidez	ninguna	ninguna	fuerte	moderada	ninguna
Tipo de agua	clara	clara	blanca	clara	clara
Segundo muestreo : Setiembre 2016					
Área(m <sup>2</sup> )	6	5	5	6	6
Prof. Media(m)	1	0.4	0.1	1.1	0.3
Turbidez	ninguna	ninguna	fuerte	fuerte	ninguna
Tipo de agua	clara	clara	blanca	blanca	clara
Tercer muestreo : Octubre 2016					
Área(m <sup>2</sup> )	6	5	5	6	6
Prof. Media(m)	1.2	0.4	0.2	1.3	0.5
Turbidez	ninguna	ninguna	ninguna	ninguna	ninguna
Tipo de agua	clara	clara	blanca	blanca	clara

**Tabla N° 10** Principales parámetros de caracterización física por estaciones de muestreo de Relavera Milpo Andina. Pasco, Provincia de Pasco, Perú.

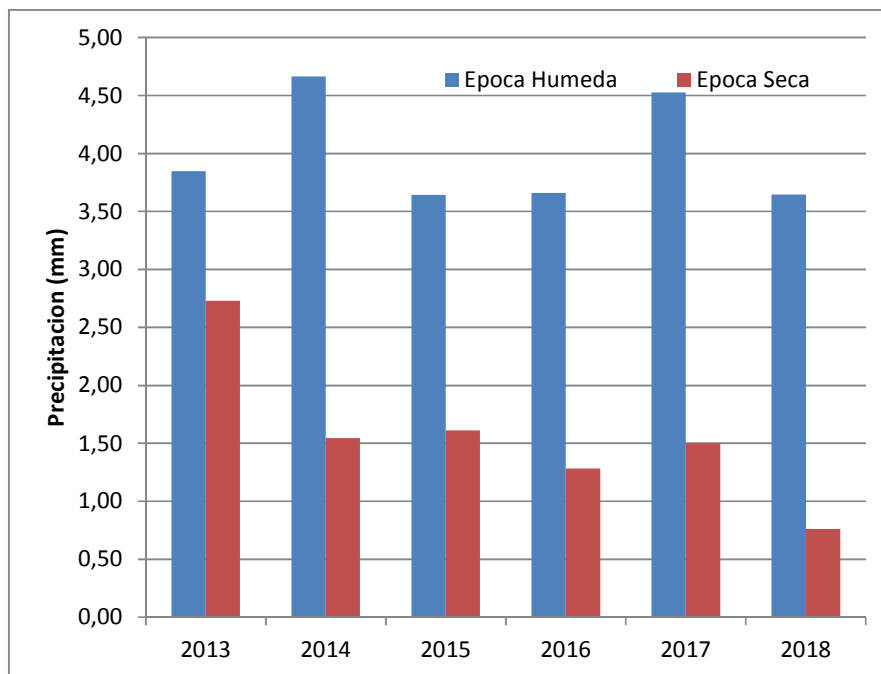
Relavera Milpo Andina					
	RMp-1*	RMp-2	RMp-3	RMp-4	RMp-5
Primer muestreo : Octubre 2015					
Área(m <sup>2</sup> )	5	5	4	4	6
Prof. Media(m)	0.8	1.2	0.5	0.5	0.6
Turbidez	ninguna	ninguna	ninguna	moderada	ninguna
Tipo de agua	clara	clara	clara	blanca	clara
Segundo muestreo : Setiembre 2016					
Área(m <sup>2</sup> )	5	5	4	4	6
Prof. Media(m)	0.4	0.8	0.2	0.5	0.4
Turbidez	ninguna	moderada	fuerte	moderada	fuerte
Tipo de agua	clara	clara	blanca	clara	blanca
Tercer muestreo : Octubre 2016					
Área(m <sup>2</sup> )	5	5	4	4	6
Prof. Media(m)	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3
Turbidez	moderada	fuerte	fuerte	moderada	fuerte
Tipo de agua	clara	clara	blanca	clara	blanca

**Tabla N° 11** Principales parámetros de caracterización física por estaciones de muestreo de la Laguna Yanamate. Pasco, Provincia de Pasco, Perú.

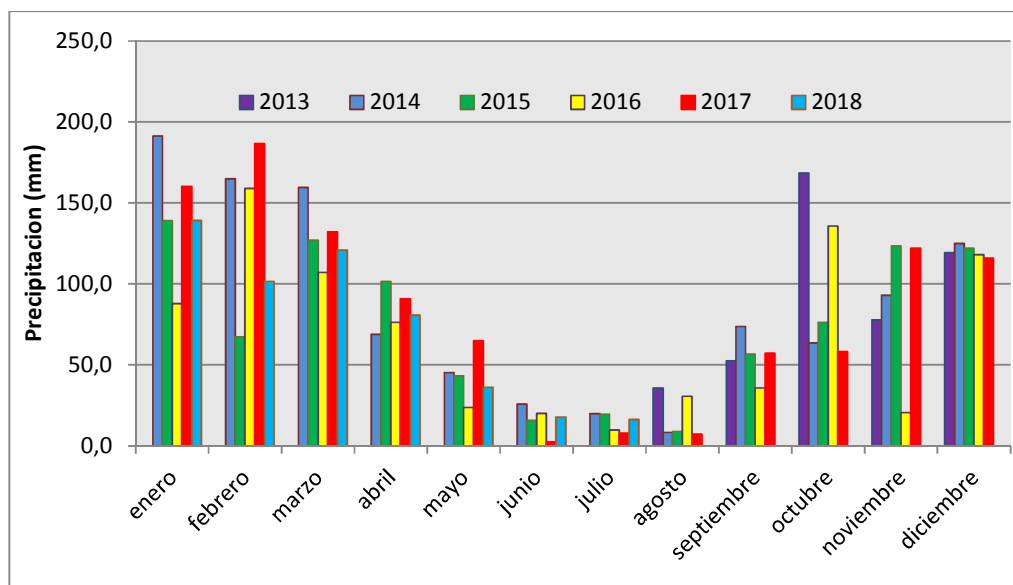
Relavera Yanamate					
	LYe-1*	LYe-2	LYe-3	LYe-4	LYe-5
Primer muestreo : Octubre 2015					
Área(m <sup>2</sup> )	2	3	2	1	2
Prof. Media(m)	0.4	0.3	0.5	0.4	0.5
Turbidez	ninguna	ninguna	ninguna	ninguna	ninguna
Tipo de agua	Acida clara	Acida clara	Acida clara	Acida clara	Acida clara
Segundo muestreo : Setiembre 2016					
Área(m <sup>2</sup> )	2	3	2	1	2
Prof. Media(m)	0.4	0.3	0.5	0.4	0.5
Turbidez	ninguna	ninguna	ninguna	ninguna	ninguna
Tipo de agua	Acida clara	Acida clara	Acida clara	Acida clara	Acida clara
Tercer muestreo : Octubre 2016					
Área(m <sup>2</sup> )	2	3	2	1	2
Prof. Media(m)	0.4	0.3	0.5	0.4	0.5
Turbidez	ninguna	ninguna	ninguna	ninguna	ninguna
Tipo de agua	Acida clara	Acida clara	Acida clara	Acida clara	Acida clara

Usando los datos meteorológicos históricos del SENAMHI para la Cuenca del Mantaro y la Intercuenca del alto Huallaga, se observa patrones normales de precipitaciones, con máxima precipitación promedio por día en la época húmeda y menores precipitaciones promedio por día en la época seca durante los años 2015, 2016 y 2017. **(Figura N°17)**. La hidrología de la segunda fecha de muestreo (Set-16) presento bajas precipitaciones en relación al mes anterior, que fue menor respecto de la primera y tercera fecha evaluada (oct-15 y oct-17 respectivamente). Debido a la poca variación de los volúmenes de agua en las quebradas que alimentan los lagos y a una intempestiva temporada lluviosa en oct 2016, tal como se aprecia en la **Figura N° 18**. En el caso de la Relavera Milpo Andina, las aguas eran desviadas para uso extractivo por parte de concesionario minero, generando una hidrografía erosionada e inestable en los puntos de muestreo.





**Figura N° 17** Datos históricos de precipitaciones promedio por año, para los muestreos octubre 2015, setiembre 2016 y octubre 2017.



**Figura N° 18** Histórico anual de precipitaciones mensuales (mm) usando la data disponible del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú- SENAMHI - Estación: Cerro de Pasco (2013 – 2018)

## 6.2 Caracterización fisicoquímica del agua

El coeficiente de variación (Coeff. Var) de los resultados fisicoquímicos indican que el pH y Temperatura no sufrieron mayores cambios. Sin embargo el oxígeno disuelto (OD) y la conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ ) presentaron una variación superior al 30%. Ver **Tabla N°12**, **Tabla N°13**, y **Tabla N°14**,

La *Temperatura del Agua* ( $^{\circ}\text{C}$ ) presentó una oscilación de 10.5 a 13.1 $^{\circ}\text{C}$  para la Laguna Huaroncocha; de 10.3 a 14 $^{\circ}\text{C}$  en Relavera Milpo Andina y en la laguna Yanamate de 10 a 14 $^{\circ}\text{C}$ ., con una tendencia estable en todos los puntos y dentro del rango de variación establecido en el ECA ( $\Delta 3$ ). En relación al *Oxígeno Disuelto (OD)* A nivel espacial los datos reportan a las estaciones de “control” con valores normales de OD de acuerdo a lo normado en los ECAS ( $\text{OD} \geq 5 \text{ mg/L}$ ), que oscilaron de 6.18 mg/L a 8.58 mg/L para la Laguna Huaroncocha, de 6.82 mg/L a 8.2 mg/L para la Relavera Milpo Andina y de 6.03 mg/L a 9.56 mg/L para la Laguna Yanamate. Por otra parte, todos los puntos de “estudio” de la Laguna Huaroncocha obtuvieron valores de OD que oscilaron de 5.1 mg/L a 8.15 mg/L con una tendencia decreciente inversamente proporcional al tiempo, excepto por el punto LHR-2 en oct-2017 que obtuvo un valor bajo de 5.1 mg/L cercano al límite del ECA. Por su parte los valores de OD de los puntos de estudio en la Laguna Yanamate oscilaron de 2.09 mg/L a 8.15 mg/L, presentando la misma tendencia decreciente. Por su parte, los puntos de estudio LYE3 y LYE4 presentaron valores inferiores a lo establecido al ECA para los tres muestreos evaluados. En los puntos de estudio de la Relavera Milpo Andina, los valores oscilaron de 4.2 mg/L a 7.8 mg/L observando un comportamiento decreciente. Sin embargo el punto RMP-4 en oct-2017 obtuvo un valor de 4.2mg/L por debajo del ECA. (Ver Anexo 6).

Respecto al pH, en los puntos de “control” y estudio, en la Laguna Huaroncocha los valores oscilaron entre 7.11 a 8.26 unidades y en Relavera Milpo Andina entre 7.14 a 8.21 unidades, en ambos casos

con una tendencia estable y dentro del rango establecido en el ECA (pH de 6.5 a 9 unidades); a diferencia de la Laguna Yanamate donde los valores oscilaron de 2 a 3.33 unidades, estando fuera del rango del ECA. De la misma forma, los valores de conductividad a nivel espacial, reportan a los puntos de “control” con valores variables respecto a lo normado en los ECAS (1000  $\mu\text{S/cm}$ ), oscilando de 130  $\mu\text{S/cm}$  a 205  $\mu\text{S/cm}$  para la Laguna Huaroncocha, de 160  $\mu\text{S/cm}$  a 350  $\mu\text{S/cm}$  para la Relavera Milpo Andina y de 4012  $\mu\text{S/cm}$  a 12910  $\mu\text{S/cm}$  para la Laguna Yanamate. Los puntos de estudio de Laguna Yanamate presentaron valores superiores a lo establecido al ECA para los tres muestreos evaluados excepto Lye-2 en oct-15 en relación con las otras fechas.

**Tabla N° 12** Parámetros físicos químicos del agua en las estaciones de muestreo de Laguna Huaroncocha

<b>Laguna Huaroncocha: primer muestreo 24 octubre 2015</b>						
<b>Estación de muestreo</b>	<b>LHr-1*</b>	<b>LHr-2</b>	<b>LHr-3</b>	<b>LHr-4</b>	<b>LHr-5</b>	<b>Coeff. Var</b>
Temperatura del agua (°C)	12	12.5	12	13	12.5	3.4%
pH (unidades)	7.76	7.56	7.25	7.5	7.11	3.5%
Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	160	140	100	150	140	16.5%
Oxígeno (mg/l)	8.58	7.81	8.15	8.12	7.92	3.6%
<b>Laguna Huaroncocha: segundo muestreo 21 setiembre 2016</b>						
Temperatura del agua (°C)	12.1	12.2	13.1	12.2	13.1	4.1%
pH (unidades)	7.11	8.11	7.47	7.76	7.15	5.6%
Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	130	110	120	160	170	18.8%
Oxígeno (mg/l)	7.22	6.89	7.24	7.23	7.1	2.1%
<b>Laguna Huaroncocha: tercer muestreo 01 octubre 2017</b>						
Temperatura del agua (°C)	10.5	11.4	10.4	11.6	11.4	5.1%
pH (unidades)	7.39	8.26	8.16	7.38	7.35	6.0%
Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	205.0	222.0	238.0	241.0	245.0	7.2%
Oxígeno (mg/l)	6.18	5.1	6.32	6.28	6.41	8.9%

\*: Punto control; Coeff.Var: calculado el software Past 3.15- Current version (March 2017).

**Tabla N° 13** Parámetros físicos químicos del agua en las estaciones de muestreo en la Relavera Milpo Andina.

Relavera Milpo Andina: primer muestreo 24 octubre 2015						
Estación de muestreo	RMp-1*	RMp-2	RMp-3	RMp-4	RMp-5	Coeff. Var
Temperatura del agua (°C)	14	11	12	12.5	12	8.9%
pH (unidades)	7.14	7.49	7.56	7.55	7.58	2.5%
Conductividad (µS/cm)	160	108	195	101.5	850	112.9%
Oxígeno (mg/l)	8.2	7.8	7.6	7.4	7.3	4.7%
Relavera Milpo Andina: segundo muestreo 21 setiembre 2016						
Temperatura del agua (°C)	12	10	11	12	11	7.5%
pH (unidades)	7.58	7.42	7.22	7.89	7.91	3.9%
Conductividad (µS/cm)	214	115	336	689	256	68.4%
Oxígeno (mg/l)	7.6	7.1	7.2	6.5	6.9	5.7%
Relavera Milpo Andina: tercer muestreo 01 octubre 2017						
Temperatura del agua (°C)	12	10.7	10.3	11.3	11.1	5.8%
pH (unidades)	8.18	7.58	7.4	8.21	8.2	5.0%
Conductividad (µS/cm)	350	993	991	1021	891	33.4%
Oxígeno (mg/l)	6.82	6.77	6.47	4.2	6.04	17.9%

\*: Punto control; Coeff.Var: calculado el software Past 3.15- Current version (March 2017).

**Tabla N° 14** Parámetros físicos químicos del agua en las estaciones de muestreo en la Laguna Yanamate.

Laguna Yanamate primer muestreo 24 octubre 2015						
Estación de muestreo	LYe-1*	LYe-2	LYe-3	LYe-4	LYe-5	Coeff. Var
Temperatura del agua (°C)	10.7	11.4	12.1	11.5	11.3	4.4%
pH (unidades)	2.18	2.58	2.2	2.5	2.8	10.7%
Conductividad (µS/cm)	4012	232	80700	1280	6515	187.8%
Oxígeno (mg/l)	9.56	8.15	4.6	4.9	6.89	31.0%
Laguna Yanamate segundo muestreo 21 setiembre 2016						
Temperatura del agua (°C)	13.5	12.4	13.1	12.1	11.4	6.6%
pH (unidades)	2.38	2.62	2.4	2.45	3.1	11.6%
Conductividad (µS/cm)	9910	1560	120100	4566	7310	178.4%
Oxígeno (mg/l)	7.55	6.41	3.9	3.22	5.44	33.5%
Laguna Yanamate tercer muestreo 01 octubre 2017						
Temperatura del agua (°C)	10.4	11.4	12.4	11.9	11.7	6.4%
pH (unidades)	2.38	2.85	2	2.74	3.33	18.8%
Conductividad (µS/cm)	12910	2810	140700	6280	11310	170.5%
Oxígeno (mg/l)	6.03	5.54	2.48	2.09	3.83	44.2%

\*: Punto control; Coeff.Var: calculado el software Past 3.15- Current version (March 2017).

### **6.3 Concentración de metales pesados en agua y sedimento**

#### **- Metales en Agua**

Con respecto a los niveles de Cadmio en agua pudo apreciarse que las lagunas evaluadas obtuvieron valores que sobrepasan a lo normado en los ECAS. Los valores de cadmio oscilaron de 0.003 a 0.005 mg/L para la Laguna Huaroncocha; de 0.008 a 0.2 mg/L para Relavera Milpo Andina y de 0.5 a 1.3mg/L para la Laguna Yanamate. Sin embargo, en la Relavera Milpo Andina, los valores presentaron una tendencia creciente proporcional al tiempo. Para la Laguna Huaroncocha en Oct-15 no se registraron valores. Por otro lado el Arsénico en el caso de la Relavera Milpo Andina describió una tendencia estable, con una tendencia creciente proporcional al tiempo. Los valores de los puntos de muestreo de la Laguna Huaroncocha y Relavera Milpo Andina oscilaron de 0.34 a 0.05 mg/L y 0.69 a 0.149 respectivamente y estando dentro de los valores normados por el ECA. Sin embargo en Laguna Yanamate los valores superaron los límites ECA, oscilando de 12.7 a 40 mg/L. Ver **Tabla N° 15** y Anexo 7

#### **- Metales en Sedimento**

Para el caso del sedimento, los niveles de Cadmio registraron una tendencia creciente en Relavera Milpo andina con valores que oscilaron de 4.86 a 14.37 mg/kg, mientras que para las otras lagunas se mantienen estables con valores que oscilan de 0.25 a 0.51 mg/kg para la Laguna Huaroncocha y de 9.96 a 11.87 mg/kg para la Laguna Yanamate. No se registraron valores en la Laguna Huaroncocha para Oct-15. En relación a la legislación vigente, ninguna de las lagunas obtuvo valores superiores a lo normado en los ECAS. El Arsénico describió una tendencia creciente proporcional al tiempo en todos los puntos de muestreo, en Relavera Milpo Andina y Laguna Yanamate los valores de Arsénico superaron lo normado en el ECA con valores que oscilaron de 267.9 a 779.26 mg/kg y 351 a 2468.79 mg/kg respectivamente. Sin embargo, los puntos de la Laguna Huaroncocha

se encuentran muy por debajo del límite (0.08 a 1.89 mg/kg). Ver **Tabla N° 15** y Anexo 7

**Tabla N° 15** Valores de Concentración de Cadmio y Arsénico registrados en las lagunas evaluadas para los muestreos (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017).

Lagunas	Metal pesado	Componente	24/10/15	21/09/16	01/10/17	ECA
Laguna Huaroncocha	Arsénico	Agua (mg/L)	0.034	0.050	0.046	0.15*
		Sedimento (mg/Kg)	0.080	1.32	1.89	140**
	Cadmio	Agua (mg/L)	N.D.	<0.005	<0.003	0.00025*
		Sedimento (mg/Kg)	N.D.	<0.25	<0.51	22**
Relavera Milpo	Arsénico	Agua (mg/L)	0.069	0.149	0.082	0.15*
		Sedimento (mg/Kg)	267.90	517.00	779.26	140**
	Cadmio	Agua (mg/L)	0.008	0.028	0.20	0.00025*
		Sedimento (mg/Kg)	4.86	10.50	14.37	22**
Laguna Yanamate	Arsénico	Agua (mg/L)	12.70	40.0	69.41	0.15*
		Sedimento (mg/Kg)	351.00	1401.00	2468.79	140**
	Cadmio	Agua (mg/L)	0.50	1.30	1.30	0.00025*
		Sedimento (mg/Kg)	9.96	10.80	11.87	22**

ECA: Estándares de Calidad Ambiental (ECA); ND: No Determinado.

\* Agua: DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático E1

\*\* Suelo: DECRETO SUPREMO N° 002-2013-MINAM. Uso de Suelo: Suelo Comercial /Industrial/Extractivo

## 6.4 Variabilidad temporal de la comunidad de invertebrados

### a) Composición de la comunidad de invertebrados bentónicos en las Lagunas evaluadas

Se identificaron un total de 25 familias, 19 órdenes, 11 clases y 5 phylum en Laguna Huaroncocha y Relavera Milpo Andina. En Laguna Huaroncocha 17 taxas fueron identificados hasta nivel de familia y 23 en Relavera Milpo Andina. La Laguna Yanamate presento riqueza nula. Ver Tabla N° 17. A nivel de genero se identificaron 12 taxa: *Dugesia* sp. (Tricáldida), *Sphaerium* sp. (Sphaemidae), *Helisoma* sp. (Planorbidae), *Austrelmis* sp. (Elmidae), *Culicoides* sp. (Ceratopogonidae), *Podonomus* sp. y *Chironomus* sp. (Chironomidae), *Hemerodromia* sp. (Empididae),

*Limnophora* sp. (Muscidae), *Gigantodax* sp. y *Simulium* sp. (Simuliidae), y *Hyalella* sp. (Hyalellidae).

**Riqueza:** En la Laguna Huaroncocha, la comunidad de invertebrados estuvo representada en las tres fechas por la Clase Insecta. A nivel de órdenes la más representativa fue Diptera agrupada en tres familias en donde la familia Chironomidae fue la de mayor riqueza con cuatro especies, seguido de la orden Haplotaxida con dos familias. Los ordenes Lumbriculida, Arhynchobdellida, Rhynchobdellida, Tricladida, Veneroida, Basommatophora, Trichoptera, Ephemeroptera, Hemiptera, Trombidiformes, Amphipoda, Anomopoda, Calanoida y Cyclopoide, solo presentaron una familia. En La Relavera Milpo Andina a nivel de órdenes la más representativa fue Diptera agrupada en siete familias en donde la familia Chironomidae fue la de mayor riqueza, seguidos del orden Coleoptera y Haplotaxida con 2 familias. Los demás órdenes Lumbriculida, Veneroida, Basommatophora, Ephemeroptera, Hemiptera, Collembolla, Trombidiformes, Amphipoda, Podocopida, Cyclopoida, Calanoida, Cladocera y Anomopoda presentaron una familia y un género. Ver **Tabla N° 17**.

**Abundancia:** La abundancia total de invertebrados acuáticos en este estudio fue de 647 individuos para la Laguna Huaroncocha, 1011 individuos en la Relavera Milpo Andina y de cero individuos para la Laguna Yanamate. Con respecto a la abundancia en Laguna Huaroncocha el orden Diptera presento 271 individuos, siendo la familia Chironomidae la más abundante con 265 individuos; seguido de Amphipodos con 105 individuos, el orden Calanoida con 91 individuos. Los órdenes Clitellata, Veneroida, Arhynchobdellida, Basommatophora y Rhynchobdellida presentaron menos de 10 individuos. La abundancia en Relavera Milpo Andina estuvo representada por el orden diptera con 459 individuos representados por la familia Chironomidae con 389 individuos, le siguió el orden Podocopida con 234 y Cyclopoida

con 134. Los órdenes Calanoida, Cladocera, Lumbriculida, Clitellata, Veneroida, Ephemeroptera y el orden no determinado del phylum Nematoda presentaron menos de 10 individuos. En la laguna Huaroncocha y Relavera Milpo Andina las estaciones controles obtuvieron mayores riquezas y abundancias en comparación a las estaciones estudio. Ver **Tabla N° 16**

**Tabla N° 16** Lista taxonómica de la comunidad de invertebrados presentes en las lagunas Huaroncocha, Relavera Milpo Andina y Yanamate en los tres muestreos (2015, 2016 y 2017).

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA
ANNELIDA	Clitellata	Lumbriculida	Lumbriculidae
			Tubificidae
		Haplotaxida	Naididae
		Arhynchobdellida	Erpobdellidae
		Rhynchobdellida	Glossiphoniidae
PLATYHELMINTHES	Rhabditophora	Tricladida	Planariidae
NEMATODA	Nd	Nd	Nd
MOLLUSCA	Bivalvia	Veneroida	Sphaeriidae
	Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae
ARTHROPODA	Insecta	Trichoptera	Hidrotiidae
		Coleoptera	Dytiscidae
			Elmidae
			Ceratopogonidae
		Diptera	Chironomidae
			Empididae
			Ephydriidae
			Muscidae
			Simuliidae
			Tipulidae
	Entognatha	Ephemeroptera	Baetidae
		Hemiptera	Corixidae
		Collembola	Isotomidae
	Arachnida	Trombidiformes	Limnesiidae
	Malacostraca	Amphipoda	Hyalidae
	Ostracoda	Podocopa	Cypridae
	Hexanauplia	Cyclopoida	Nd
		Calanoida	Nd
	Branchiopoda	Anomopoda	Daphniidae
05	11	19	25

Nd: no determinada.



**Tabla N° 17** Abundancia relativa de la comunidad de invertebrados bentónicos presentes en las lagunas Huaroncocha y Relavera Milpo Andina en los tres muestreos (2015, 2016 y 2017).

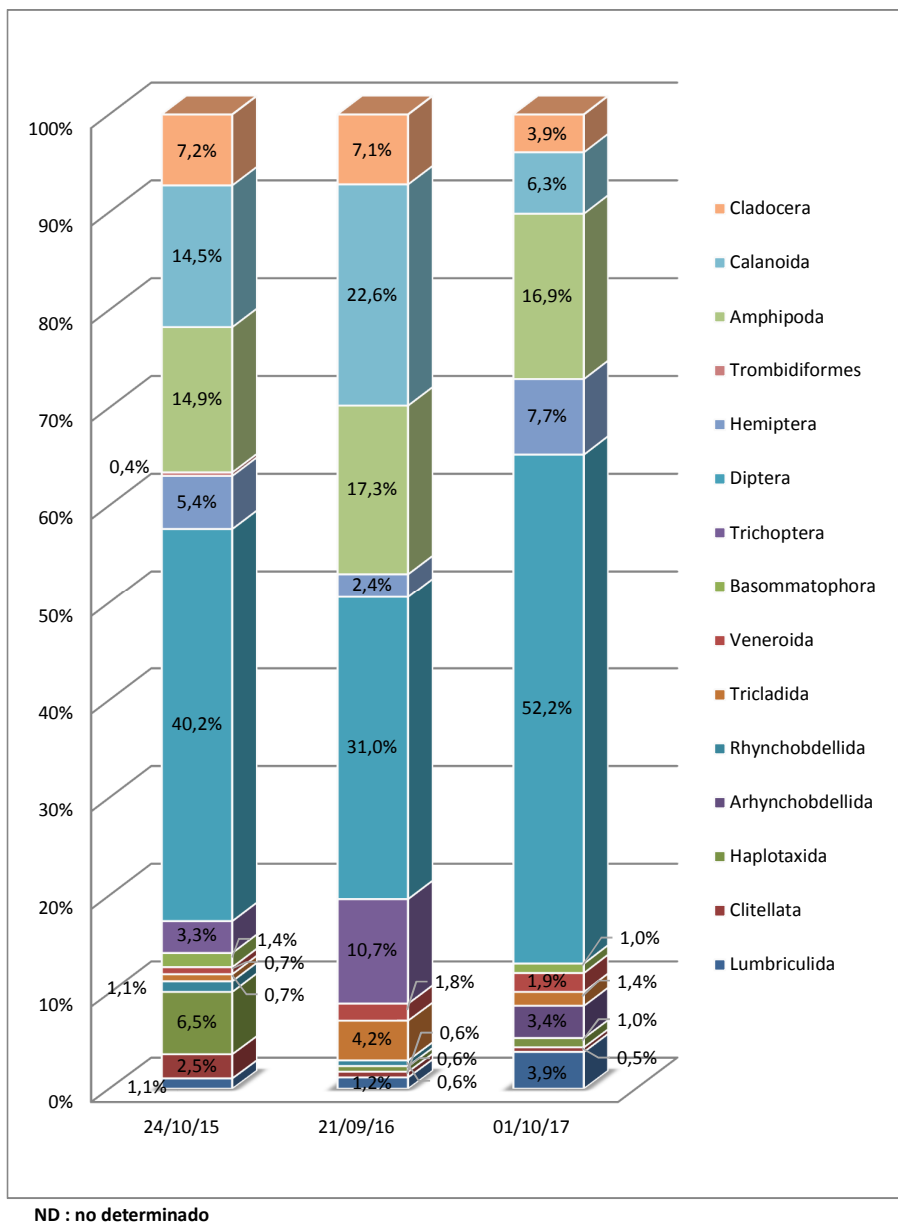
PHYLUM	Familia	Laguna Huaroncocha			Total	Relavera Milpo Andina			Total
		Oct-15	Set-16	Oct-17		Oct-15	Set-16	Oct-17	
ANNELIDA	Lumbriculidae	3	2	8	13	3	2	-	5
	Tubificidae	7	1	1	9	-	2	3	5
	Naididae	18	1	2	21	-	8	17	25
	Erpobdellidae	-	-	7	7	-	-	-	0
	Glossiphonidae	3	1	-	4	-	-	-	0
PLATYHELMINTHES	Planariidae	2	7	3	12	-	-	-	0
NEMATODA	Nd	-	-	-	0	-	-	2	2
MOLLUSCA	Sphaeriidae	2	3	4	9	8	-	1	9
	Planorbidae	4	-	2	6	-	-	-	0
ARTHROPODA	Hidroptilidae	9	18	-	27	-	-	-	0
	Dytiscidae	-	-	-	0	12	6	-	18
	Elmidae	-	-	-	0	3	-	3	6
	Ceratopogonidae	-	-	-	0	3	2	-	5
	Chironomidae	107	50	108	265	74	125	190	389
	Empididae	3	2	-	5	11	5	3	19
	Ephydriidae	-	-	-	0	8	1	1	10
	Muscidae	-	-	-	0	4	2	3	9
	Simuliidae	-	-	-	0	8	8	2	18
	Tipulidae	1	-	-	1	2	3	4	9
	Baetidae	-	-	-	0	1	-	2	3
	Corixidae	15	4	16	35	54	9	-	63
	Isotomidae	-	-	-	0	16	3	1	20
	Limnesiidae	1	-	-	1	8	4	2	14
	Hyalellidae	41	29	35	105	10	1	-	11
	Cypridae	-	-	-	0	196	38	-	234
	Nd	-	-	-	0	127	15	-	142
	Nd	40	38	13	91	4	3	-	7
	Daphniidae	20	12	8	40	5	1	-	6
RIQUEZA		16	13	12	17	20	19	14	23
ABUNDANCIA		272	168	207	647	539	238	234	1011

Nd: no determinada.

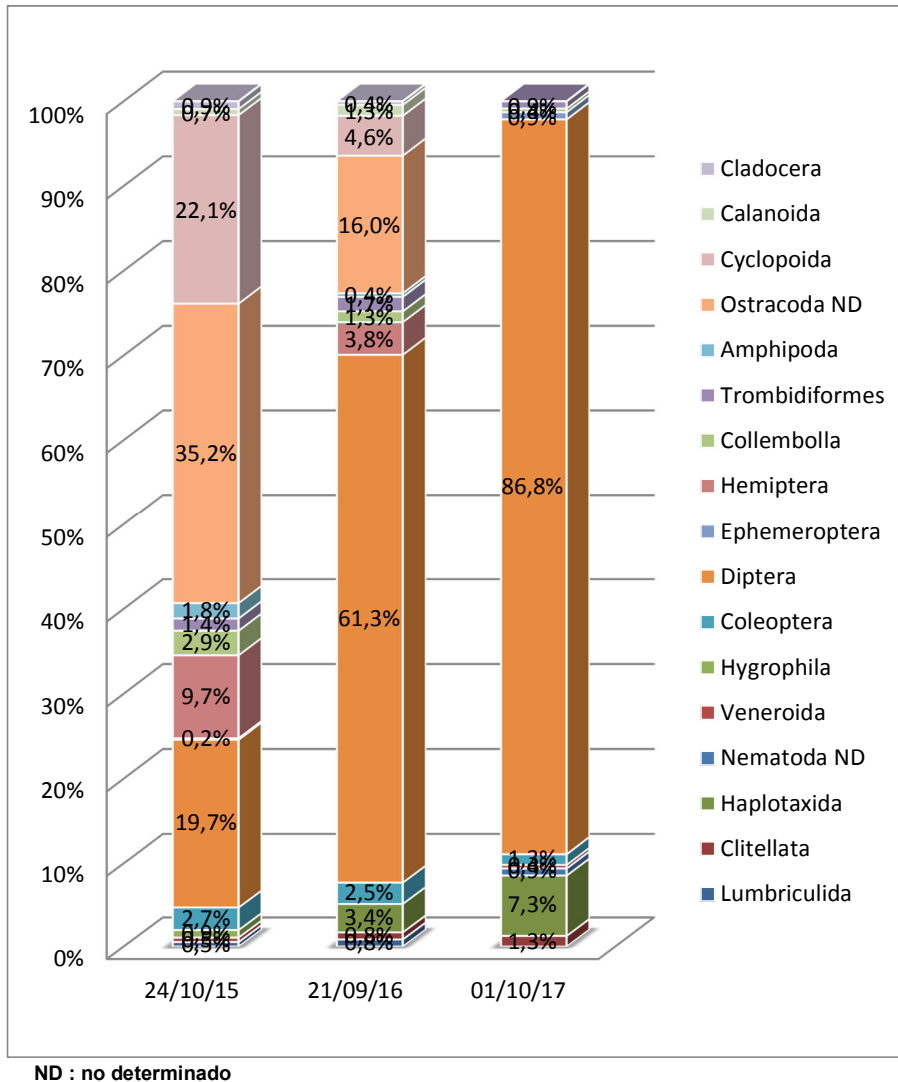
En el primer muestreo (Octubre 2015), se identificaron un total de 16 taxas en la Laguna Huaroncocha, representando la clase insecta el 48,9% y 20 taxas en la Relavera Milpo Andina, siendo los mas abundantes la clase Ostracodos con el 35,2% e Insecta con 32,3%. La abundancia total de invertebrados acuáticos para Oct-15 fue de 272 individuos para la Laguna Huaroncocha, 539 individuos en la Relavera Milpo Andina y de 0 individuos para la Laguna Yanamate.

En el segundo muestreo (Setiembre 2016), se identificaron un total de 13 taxas en la Laguna Huaroncocha, representando la clase Insecta el 44% y 19 taxas en la Relavera Milpo Andina, en ambas laguna la clase Insecta fue la mas abundante con 44% y 67.6%. La abundancia total de invertebrados acuáticos para Set-16 fue de 168 individuos para la Laguna Huaroncocha, 238 individuos en la Relavera Milpo Andina y de 0 individuos para la Laguna Yanamate.

En el tercer muestreo (Octubre 2017) se identificaron un total de 12 taxas en la Laguna Huaroncocha y 14 taxas en la Relavera Milpo Andina, en ambas lagunas la clase Insecta fue la más abundante representando el 59.9% y 88.9% respectivamente. La abundancia total de invertebrados acuáticos para Oct-17 fue de 207 individuos para la Laguna Huaroncocha, 234 individuos en la Relavera Milpo Andina y 0 individuos para la Laguna Yanamate. Ver **Figura 19 y 20.**



**Figura N° 19** Porcentaje de invertebrados bentónicos muestreados en Laguna Huaroncocha en octubre 2015, setiembre 2016 y octubre 2017.



**Figura N° 20** Porcentaje de invertebrados bentonicos muestreados en Relavera Milpo Andina en octubre 2015, setiembre 2016 y octubre 2017.

### b) Abundancia de individuos (N) por estaciones de muestreo

La prueba estadística de Kruskal-Wallis demostró que no existen diferencias significativas entre las tres fechas evaluadas en la Laguna Huaroncocha ( $p=0.1725$ ;  $p>0.05$ ) (**Tabla N° 18** y Anexo 1)

**Tabla N° 18** Abundancia de individuos (N) promedio de invertebrados acuáticos en la Laguna Huaroncocha para los muestreos (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017). Pasco, Provincia de Pasco. Perú.

Estación	Abundancia media de individuos (N)		
	24/10/15	21/09/16	01/10/17
LHr-1*	3.9	3.15	3.65
LHr-2	2.35	2	1.75
LHr-3	3.2	0.9	2.4
LHr-4	2.55	1.05	1.5
LHr-5	1.8	1.3	1.05
Prueba Kruskal-Wallis Temporal: $p>0.05$	$p=0.1725$		
Prueba Kruskal-Wallis Espacial*: $p>0.05$	$p= 0,3338$	$p= 0,6091$	$p= 0,418$

\*: Valores calculados considerando las cinco (05) réplicas tomadas en cada estación de muestreo mediante Past 3.x Current version (April 2018): 3.20

En los puntos de muestreo en cada época para la Laguna Huaroncocha ( $p= 0,3338$  en Oct-15;  $p= 0,6091$  en Set-16 y  $p= 0,418$  en Oct-17;  $p<0.05$ ) tampoco existen diferencias significativas. Lo calculado se complementa con los diagramas de error, el cual permitió describir que no existe una variación evidente de la abundancia entre estaciones muestreadas durante cada época. Así mismo, en dichos diagrama se muestra a las estaciones “control” con mayor promedio de abundancia frente a las de “estudio”, siendo la estación LHr-1\* la de mayor abundancia promedio en los tres muestreos. (Ver Anexo 8)

En la Intercuenca del Alto Huallaga, la prueba estadística de Kruskal-Wallis aplicada a la Relavera Milpo Andina demostró que si existen diferencias significativas entre los tres fechas de muestreo ( $p=0.001211$ ;  $p>0.05$ ) (**Tabla N° 19** y Anexo 1).

**Tabla N° 19** Abundancia de individuos (N) promedio de invertebrados acuáticos en la Relavera Milpo Andina para los muestreos (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017). Pasco, Provincia de Pasco. Perú.

Estación	Abundancia media de individuos (N)		
	24/10/15	21/09/16	01/10/17
<b>RMp-1*</b>	5.17	2.57	4.70
<b>RMp-2</b>	3.77	1.67	1.30
<b>RMp-3</b>	3.80	1.23	1.53
<b>RMp-4</b>	4.20	1.17	0.13
<b>RMp-5</b>	1.63	1.30	0.13
<b>Prueba Kruskal-Wallis Temporal: <math>p&gt;0.05</math></b>	$p=0.001211$		
<b>Prueba Kruskal-Wallis Espacial*: <math>p&gt;0.05</math></b>	$p= 0,1808$	$p= 0,7916$	$p= 0,001082$

\*: Valores calculados considerando las cinco (05) réplicas tomadas en cada estación de muestreo mediante Past 3.x Current version (April 2018): 3.20

Las estaciones de muestreo evaluadas en Oct-15 ( $p= 0,1808$ ;  $p<0.05$ ) y Set-16 ( $p= 0,7916$ ;  $p<0.05$ ) no presentan diferencias significativa. Sin embargo en Oct-17 si se encontraron diferencias significativas ( $p= 0,001082$ ;  $p<0.05$ ). Lo calculado se complementa con los diagramas de error, el cual permitió describir que no existe una variación evidente de la abundancia entre estaciones muestreadas Oct-15 y Set-16. Sin embargo los diagramas de error permiten describir la variación de la abundancia entre estaciones muestreadas durante Oct-17. Así mismo, en dichos diagrama se muestra a las estaciones “control” con mayor promedio de abundancia frente a las de “estudio”, siendo la estación RMp-1\* la de mayor abundancia promedio en los tres muestreos (Ver Anexo 8).

La Laguna Yanamate no reporto valores de abundancia para ninguna estación de muestreo de las fechas evaluadas

### c) Estructura comunitaria de los invertebrados bentónicos

#### Índice de Diversidad de Shannon- Wiener ( $H'$ )

La prueba estadística de Kruskal-Wallis demostró que existen diferencias significativas entre los tres muestreos evaluados de la Laguna Huaroncocha ( $p=0.003698$ ;  $p>0.05$ ) (**Tabla N° 20** y Anexo 2). Los puntos evaluados de la Laguna Huaroncocha describen una diferencia significativa en Oct-15 ( $p= 0,02119$ ;  $p<0.05$ ). Sin embargo, los puntos en Set-16 y Oct-17 no tienen diferencias significativas ( $p= 0,2647$  y  $p= 0,07625$ , respectivamente;  $p<0.05$ ). En Relavera Milpo Andina también existen diferencias significativas entre los tres muestreos evaluados ( $p=0.009895$ ;  $p>0.05$ ) (**Tabla N°21** y Anexo 2). Por otro lado, en los puntos evaluados describen una diferencia significativa entre las estaciones de Set-16 con  $p=0,009869$  y Oct-17 con  $p=0,0005554$ ;  $p<0.05$ . Por su parte, los puntos en Oct-15 no tienen diferencias significativas ( $p= 0,05364$ ;  $p<0.05$ ).

**Tabla N° 20** Diversidad de Shannon-Wiener promedio de invertebrados bentónicos acuáticos en la Laguna Huaroncocha para los tres muestreos (2015, 2016 y 2017). Pasco, Provincia de Pasco. Perú.

ESTACIÓN	SHANNON- WIENER $H'$ (Log2)		
	24/10/15	21/09/16	01/10/17
LHr-1*	2.22	1.31	0.95
LHr-2	1.83	1.75	1.59
LHr-3	1.92	1.66	1.07
LHr-4	1.92	1.33	1.25
LHr-5	2.06	1.53	0.90
Prueba Kruskal-Wallis Temporal: $p>0.05$	$p=0.003698$		
Prueba Kruskal-Wallis Espacial*: $p>0.05$	$p= 0,02119$	$p= 0,2647$	$p= 0,07625$

\*: Valores calculados considerando las cinco (05) réplicas tomadas en cada estación de muestreo mediante Past 3.x Current version (Abril 2018): 3.20

**Tabla N° 21** Diversidad de Shannon-Wiener promedio de invertebrados bentónicos acuáticos en la Relavera Milpo Andina para los tres muestreos (2015, 2016 y 2017). Pasco, Provincia de Pasco. Perú.

ESTACIÓN	SHANNON- WIENER H'(LOG2)		
	24/10/15	21/09/16	01/10/17
RMp-1*	2.14	2.10	0.83
RMp-2	2.31	2.22	1.74
RMp-3	1.82	2.30	1.63
RMp-4	1.51	2.47	0.29
RMp-5	2.22	2.53	0.44
Prueba Kruskal-Wallis Temporal: >0.05	p=0.009895		
Prueba Kruskal-Wallis Espacial*: >0.05	p= 0,05364	p= 0,009869	p= 0,0005554

\*: Valores calculados considerando las cinco (05) réplicas tomadas en cada estación de muestreo mediante Past 3.x Current version (April 2018): 3.20

#### Índice de equidad de Pielou (J')

Con la prueba estadística de Kruskal-Wallis se demostró que existen diferencias significativas entre los tres muestreos ( $p=0,03817$ ;  $p>0.05$ ) (**Tabla N° 22** y Anexo 2). Sin embargo no hubo diferencias significativas entre las estaciones evaluadas en cada época para la Laguna Huaroncocha ( $p=0,8166$  en Oct-15;  $p=0,2611$  en Set-16 y  $p=0,4107$  en Oct-17;  $p>0.05$ ). De igual manera en Relavera Milpo Andina, existen diferencias significativas entre los tres muestreos ( $p=0,0204$ ;  $p>0.05$ ) (**Tabla N° 23** y Anexo 2). Entre las estaciones evaluadas en Oct-15 y Set-16 se presentó diferencias significativas con valores de  $p=0,03791$  y  $p=0,00432$  respectivamente ( $p>0.05$ ), mientras que en Oct-17 no se evidenciaron diferencias significativas ( $p= 0,0672$ ;  $p>0.05$ ).



**Tabla N° 22** Índice de Equidad de Pielou (J') promedio de invertebrados bentónicos acuáticos en Laguna Huaroncocha para los tres muestreos (2015, 2016 y 2017). Pasco, Provincia de Pasco. Perú.

ESTACIÓN	ÍNDICE DE EQUIDAD DE PIELOU (J')		
	24/10/15	21/09/16	01/10/17
LHr-1*	0.83	0.62	0.54
LHr-2	0.74	0.78	0.77
LHr-3	0.77	0.79	0.65
LHr-4	0.79	0.76	0.65
LHr-5	0.84	0.78	0.56
Prueba Kruskal-Wallis Temporal: p>0.05	p=0,03817		
Prueba Kruskal-Wallis Espacial*: p>0.05	p= 0,8166	p= 0,2611	p= 0,4107

\*: Valores calculados considerando las cinco (05) réplicas tomadas en cada estación de muestreo mediante Past 3.x Current version (April 2018): 3.20

**Tabla N° 23** Índice de Equidad de Pielou (J') promedio de invertebrados bentónicos acuáticos en Relavera Milpo Andina para los tres muestreos (2015, 2016 y 2017). Pasco, Provincia de Pasco. Perú.

ESTACIÓN	ÍNDICE DE EQUIDAD DE PIELOU (J')		
	24/10/15	21/09/16	01/10/17
RMp-1*	0.69	0.74	0.37
RMp-2	0.76	0.82	0.75
RMp-3	0.64	0.88	0.70
RMp-4	0.51	0.88	0.31
RMp-5	0.82	0.88	0.63
Prueba Kruskal-Wallis Temporal: p>0.05	p= 0,0204		
Prueba Kruskal-Wallis Espacial*: p>0.05	p= 0,03791	p=0,00432	p= 0,0672

\*: Valores calculados considerando las cinco (05) réplicas tomadas en cada estación de muestreo mediante Past 3.x Current version (April 2018): 3.20

#### **d) Análisis Multivariado**

##### Análisis de Similitud (ANOSIM)

Según el Análisis de Similitud (ANOSIM) para la Laguna Huaroncocha, existen diferencias significativas temporales entre los tres muestreos de estudio ( $R=0.4884$ ;  $p=0.0002$ ) evidenciando la heterogeneidad temporal de la comunidad de invertebrados acuáticos (Anexo 3). Estos resultados fueron complementados con el Análisis SIMPER para las tres fechas evaluadas, evidenciando disimilitud media de 45.03% (**Tabla N° 24** y Anexo 4). Las estaciones de muestreo en Oct-15 ( $R= 0.1298$  y  $p=0.0504$ ), en Set-16 ( $R= 0.375$  y  $p=0.0003$ ) y en Oct-17( $R= 0.2566$   $p=0.0001$ ) presentan diferencias significativas entre si, el análisis SIMPER mostró disimilitudes de 77.91% entre las estaciones de oct-15, 65.44% entre las estaciones de set-16 y 57.77% entre las estaciones de oct-17.

Por su parte, el análisis ANOSIM para la Relavera Milpo Andina describió la existencia de diferencias significativas temporales entre los tres muestreos ( $R=0.6227$ ;  $p=0.0001$ ), evidenciando la heterogeneidad de la comunidad de invertebrados acuáticos (Anexo 3). Estos resultados fueron complementados con el SIMPER para las tres fechas evaluadas, evidenciando disimilitud media de 63.44% (**Tabla N° 24** y Anexo 4). Las estaciones de muestreo en Oct-15 ( $R= 0.5825$  y  $p=0.0001$ ), en Set-16 ( $R= 0.8322$  y  $p=0.0001$ ) y en Oct-17 ( $R= 0.7141$  y  $p=0.0001$ ) poseen diferencias significativas entre si. Este análisis fue complementado con el análisis SIMPER, el cual mostró disimilitudes de 71.74% entre las estaciones de oct-15, 68.51% entre las estaciones de set-16 y 37.68% entre las estaciones de oct-17.

**Tabla N° 24** Resumen de analisis de Similitud Porcentual (SIMPER) para oct-15, set-16 y oct-17.

Analisis SIMPER*		Laguna Huaroncocha	Relavera Milpo Andina
Promedio de disimilitud (Espacial)	Group 2015	77.91%	71.74%
	Group 2016	65.44%	68.51%
	Group 2017	57.77%	37.68%
Promedio de disimilitud (Temporal)	Groups 2015 & 2016	41.84%	42.99%
	Groups 2015 & 2017	49.04%	79.47%
	Groups 2016 & 2017	44.22%	67.87%
	Media Temporal	45.03%	63.44%

\*Ver Anexo 4: Detalles de calculo con PRIMER: Getting started with v6. K R Clarke & R N Gorley. Published 2005.

**Tabla N° 25** Análisis de contribución de familias SIMPER en los puntos de muestreo de los Grupos 2015 (oct-15), Grupo 2016 (set-16) y Grupo 2017 (oct-17) en las tres lagunas evaluadas. Pasco, Provincia de Pasco. Perú.

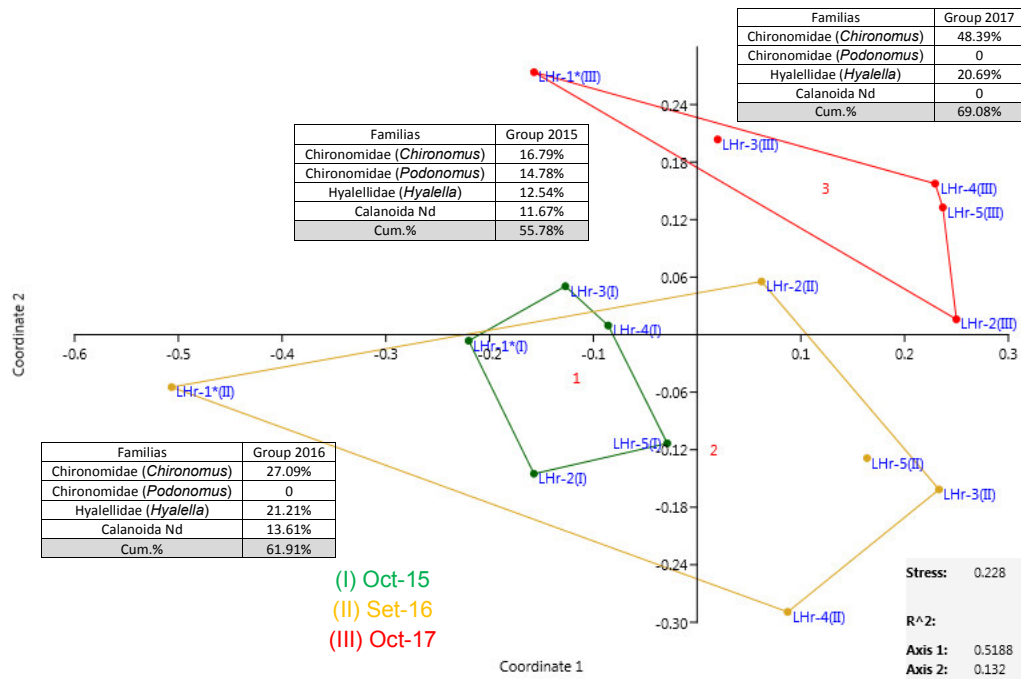
Laguna Huaroncocha			
Familia	Contrib%		
	Group I 2015	Group II 2016	Group III 2017
Chironomidae ( <i>Chironomus</i> )	16.79%	27.09%	48.39%
Chironomidae ( <i>Podonomus</i> )	14.78%	0	0
Hyalellidae ( <i>Hyalella</i> )	12.54%	21.21%	20.69%
Calanoida Nd	11.67%	13.61%	0
Cum.%	55.78%	61.91%	69.08%
Relavera Milpo Andina			
Familia	Contrib%		
	Group I 2015	Group II 2016	Group III 2017
Ostracoda Nd	16.11%	10.80%	0
Cyclopoida Nd	11.23%	0	0
Corixidae ( <i>Ectemnostega</i> )	9.56%	0	0
Chironomidae (Orthocladinae(subfamilia))	7.30%	11.61%	55.78%
Chironomidae ( <i>Chironomus</i> )	6.82%	12.95%	0
Chironomidae ( <i>Podonomus</i> )	0	11.66%	0
Chironomidae (Tanypodinae(subfamilia))	0	10.21%	0
Cum.%	51.02%	57.23%	55.78%
Laguna Yanamate			
Familia	Contrib%		
	Group I 2015	Group II 2016	Group III 2017
-	-	-	-

\*Ver Anexo 4: Detalles de calculo con PRIMER: Getting started with v6. K R Clarke & R N Gorley. Published 2005. Nd : no determinado

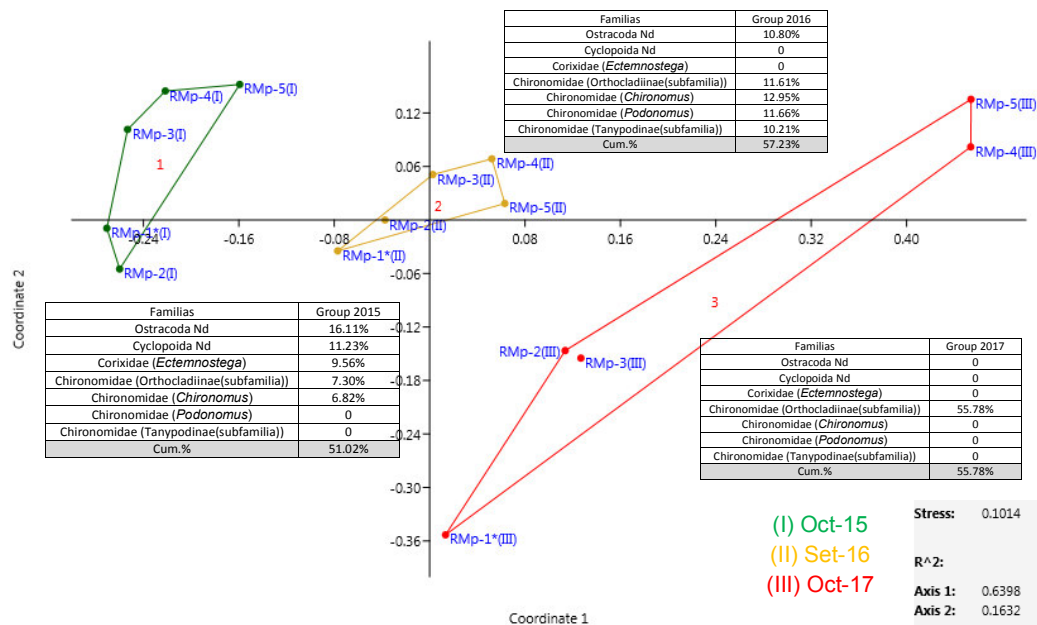
### El Analisis de Agrupamiento nMDS

En la Laguna Huaroncocha para las tres campañas de estudio el nMDS, mostro el agrupamiento en 3 grupos con similitud espacio-temporal del 51% y un valor de stress significativo (0,228). A nivel espacial, el nMDS mostro un agrupamiento entre los puntos de muestreo en función a la fecha: Grupo I (oct-15), compuesto por LHR-1\*(I), LHR-2(I), LHR-3(I), LHR-4(I) y LHR-5(I), en donde el 55.78% de contribución de abundancia son explicados por las familias Chironomidae, Hyalellidae y la familia Calanoida Nd. Grupo II (set-16), compuesto por LHR-1\*(II), LHR-2(II), LHR-3(II), LHR-4(II) y LHR-5(II) en donde el 61.91% de contribución de abundancia son explicados por Chironomidae, Hyalellidae y la familia Calanoida Nd; y el Grupo III (oct-17), compuesto por LHR-1\*(III), LHR-2(III), LHR-3(III), LHR-4(III), LHR-5(III) en donde el 69.08% de contribución de abundancia son explicados por Chironomidae, Hyalellidae. (Ver **Figura N° 21 y Tabla N° 25**)

Por su parte, el análisis de agrupamiento nMDS en la Relavera Milpo andina para las tres campañas de estudio, mostro el agrupamiento diferenciado en 3 grupos con similitud a nivel espacio-temporal del 63% y un valor de stress significativo (0,1014). A nivel espacial, el nMDS mostro un agrupamiento entre los puntos de muestreo en función a la época Grupo I (oct-15) compuesto por RMp-1\*(I), RMp-2(I), RMp-3(I), RMp-4(I) y RMp-5(I), en donde el 51.02% de contribución de abundancia son explicados por las familias Ostracoda Nd, Cyclopoida Nd, Corixidae y Chironomidae. El Grupo II (set-16) compuesto por RMp-1\*(II), RMp-2(II), RMp-3(II), RMp-4(II) y RMp-5(II) explica el 57.23% de contribución de abundancia en las familias Chironomidae y Ostracoda Nd. Mientras que en el Grupo III (oct-17) conformado por RMp-1\*(III), RMp-2(III), RMp-3(III), RMp-4(III) y RMp-5(III) la mayor contribución ocurre con la familia Chironomidae con 55.78%. (Ver **Figura N° 22 y Tabla N° 25**)



**Figura N° 21** Análisis no Paramétrico de Escalamiento Multidimensional (nMDS) por estaciones de muestreo para en la Laguna Huaroncocha y contribución de familias en porcentaje (Oct-15 (I), set-16 (II) y Oct-17 (III)).

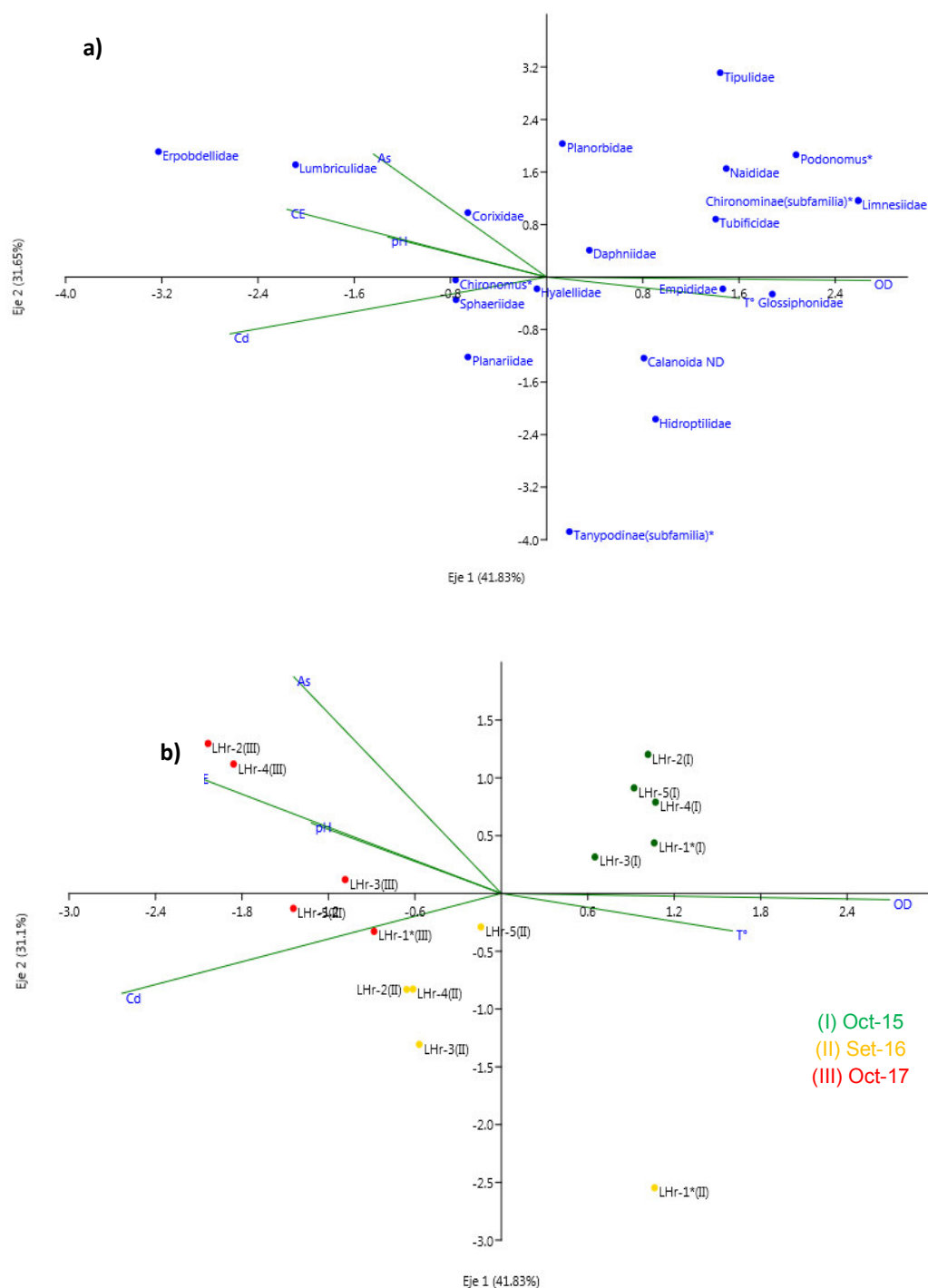


**Figura N° 22** Análisis no Paramétrico de Escalamiento Multidimensional (nMDS) por estaciones de muestreo en la Relavera Milpo Andina y contribución de familias en porcentaje (Oct-15 (I), set-16 (II) y Oct-17 (III)).

### El Análisis Canonico de Correspondencia (ACC)

El ACC para la Laguna Huaroncocha, mostro que los ejes canónicos 1 y 2 explicaron un alto porcentaje de la variabilidad de la relación entre las variables ambientales y los invertebrados bentónicos, explicando un 72.93% de la varianza total. El primer eje canonico por si solo explico mas del 41% de la variabilidad, relacionada principalmente con oxigeno disuelto (OD), temperatura (T°) y cadmio (Cd) (Ver **Figura N° 23 a**). En el extremo positivo de esta dimensión se situaron las familias Tubificidae, Naedidae, Glossiphonidae, Hidroptilidae, Chironomidae (\*), Tipulidae, Limnesiidae y Calanoida Nd, cercanamente relacionadas con el muestreo de Oct-15 y el oxigeno disuelto con valores de 7.81 a 8.58 (mg/l). En el extremo opuesto se ubicaron los Lumbriculidae y Erpobdellidae relacionado con las estaciones de estudio LHR-2(III) y LHR-4(III) en Oct-17 (Ver **Figura N° 23 b**), con valores de As de 0.51 mg/kg y conductividades de 222 a 241 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). El resto de las familias se ubicaron en posiciones intermedias a lo largo de esta primera dimensión encontrándose en posiciones más centradas a Planariidae, Sphaeriidae, Chironomidae, Empedidae, Corixidae, Hyalellidae y Daphniidae.

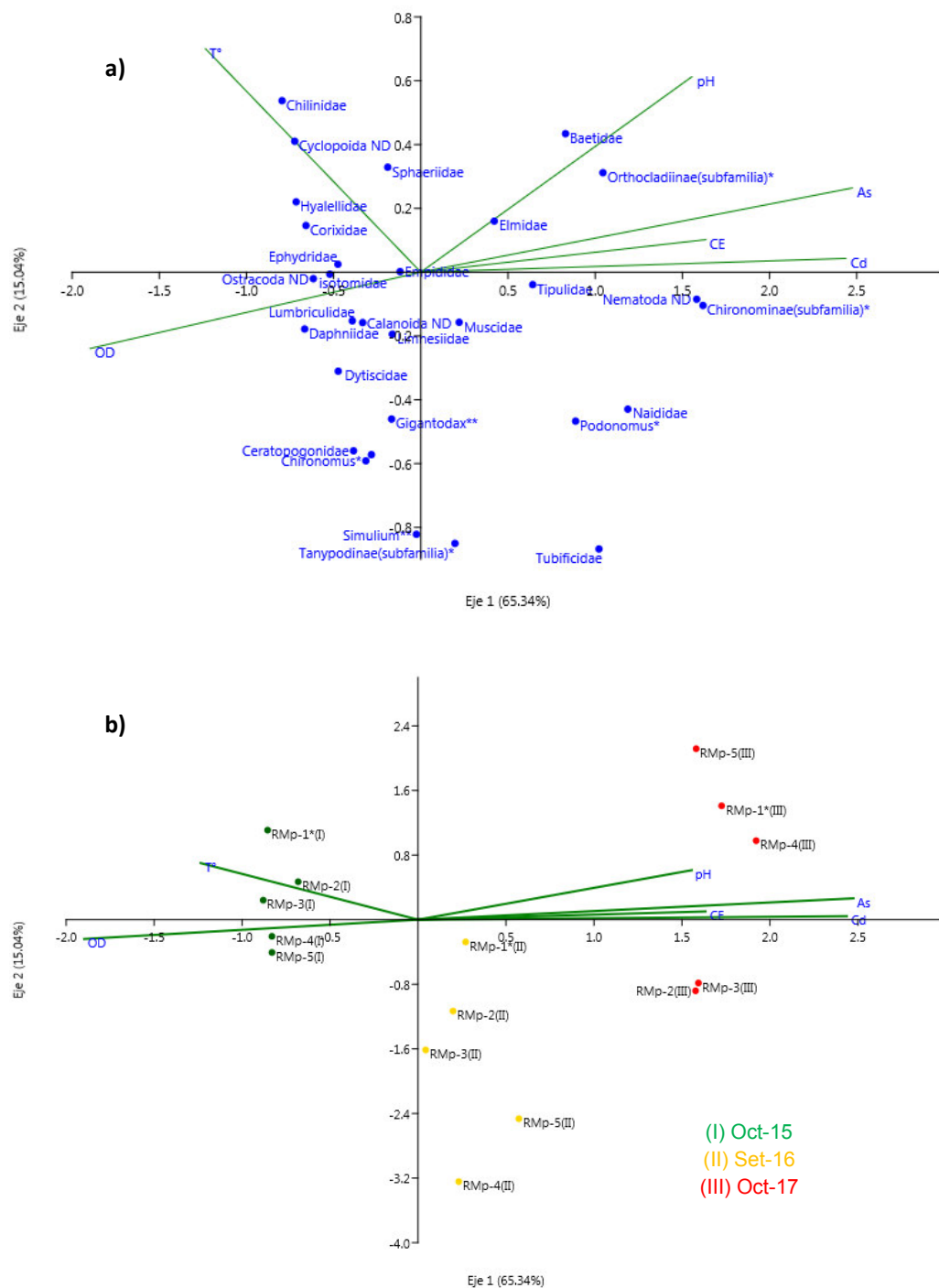
El segundo eje canónico explico un 31,1% de la variabilidad, porcentaje cercano al primer eje de análisis, en donde su extremo positivo se situó a Naididae, Planorbidae, Chironomidae (\*) y Tipulidae, cercanamente relacionadas con el muestreo de Oct-15 y el OD. En su extremo opuesto se ubicaron Planariidae, Hidroptilidae, Chironomidae (\*) y Calanoida Nd, vinculados con Set-16 en los puntos LHR-1\*(II), LHR-2(II), LHR-3(II) y LHR-4(II). El resto de los generos se ubicaron en posiciones intermedias que siguen el mismo comportamiento que el primer eje. Ver **Figura N° 23 a y b**.



**Figura N° 23** Resultado del Análisis Canónico de Correspondencias (ACC), mostrando la ubicación de las familias de invertebrados con respecto a las variables ambientales (a) y la localización de las estaciones de muestreo evaluadas en la Laguna Huaroncocha en Oct-15 (I), set-16 (II) y Oct-17 (III) (b)

El ACC la Relavera Milpo Andina, mostro que los ejes canónicos 1 y 2 explicaron el 80.38% de la varianza total, entre las variables ambientales y los invertebrados bentónicos. El primer eje canonico por si solo explico mas del 65% de la variabilidad, relacionada principalmente con oxigeno disuelto (OD), arsénico (As), Cadmio (Cd) y Conductividad eléctrica (CE) (Ver **Figura N° 24a**). En el extremo positivo de esta dimensión se situaron las familias Tubificidae, Naididae, Chironomidae y Baetidae cercanamente relacionadas con todo el muestreo de Oct-17 y Set-16 (RMp-4(II) y RMp-5(II)). En esta dimensión, el arsénico registro un valor de 517 a 779.26 mg/kg y el cadmio de 10.5 a 14.37 mg/kg, mientras que la conductividad estuvo en el rango de 256 a 1021( $\mu$ S/cm). En el extremo opuesto se ubicaron los generos no determinados de Sphaeriidae y Cyclopoida no determinada, relacionados con variaciones de temperatura de 14°C en la estacion de oct-15 (RMp-1\*) (Ver **Figura N° 24b**). El resto de las familias se ubicaron en posiciones intermedias a lo largo de esta primera dimensión encontrándose en posiciones más centradas Lumbriculidae, Elmidae, Empedidae, Ephydriidae, Muscidae, Tipulidae, Corixidae, Isotomidae, Hyalellidae, Cyprididae, Calanoida no determinada y Daphniidae, relacionadas con todos los muestreos de Oct-15. El segundo eje canónico explico un 15,04% de la variabilidad, porcentaje bastante menor en comparación al primer eje de análisis. Ver **Figura N° 24 a y b**





**Figura N° 24** Resultado del Análisis Canónico de Correspondencias (ACC), mostrando la ubicación de las familias de invertebrados con respecto a las variables ambientales (a) y la localización de las estaciones de muestreo evaluadas en Relavera Milpo Andina en Oct-15 (I), set-16 (II) y Oct-17 (III) (b)

### Correlacion de Spearman entre las variables ambientales y las variables bióticas

Este análisis se realizó con IBM SPSS Statistics 20, para determinar si existe relación entre los parámetros fisicoquímicos y de estructura comunitaria de las lagunas muestreadas.

Laguna Huaroncocha presentó un alto nivel de correlación significativa entre el oxígeno y riqueza con el cadmio; temperatura y riqueza con arsénico. Ver **Tabla N° 26**. Mientras que en Relavera Milpo Andina, existe un alto nivel de correlación significativa, principalmente en riqueza y arsénico, cadmio y oxígeno con conductividad, oxígeno con arsénico y cadmio. Ver **Tabla N° 27**.

**Tabla N° 26** Correlacion de Spearman entre los parámetros fisicoquímicos y la estructura comunitaria en Laguna Huaroncocha para los tres campañas. Pasco, Provincia de Pasco. Perú.

Laguna Huaroncocha		Arsenico	Cadmio	Temperatura	pH	Conductividad	Oxigeno	Abundancia	Riqueza	Shannon	Pielou		
Rho de Spearman	Arsenico_Sedimento	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral)		1,000	,500	-,778**	,189	,710**	-,472	-,189	-,257	-,416	-,454
		N		15	,058	,001	,499	,003	,075	,500	,355	,123	,089
	Cadmio_sedimento	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral)		,500	1,000	-,645**	,208	,710**	-,945**	-,331	-,742**	-,094	-,680**
		N		15	,009	,009	,456	,003	,000	,228	,002	,738	,005
	Temperatura	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral)		-,778**	-,645**	1,000	-,279	-,579*	,570*	-,323	,262	,172	,655**
		N		15	,009	,009	,313	,024	,026	,240	,346	,539	,008
	pH	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral)		,189	,208	-,279	1,000	,178	-,229	,019	-,125	,247	,038
		N		,499	,456	,313	,525	,525	,412	,947	,657	,375	,894
	Conductividad	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral)		,710**	-,579*	-,579*	1,000	-,635*	-,225	-,574*	-,331	-,479	-,479
		N		,003	,003	,024	,525	,011	,421	,025	,228	,071	,071
	Oxigeno_OD	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral)		-,472	-,945**	,570*	-,229	-,635*	1,000	,282	,630*	,082	,657**
		N		,075	,000	,026	,412	,011	,308	,012	,771	,008	,008
	Abundancia_N	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral)		,189	-,331	-,323	,019	-,225	,282	-,509	-,159	-,159	-,052
		N		,500	,228	,240	,947	,421	,308	,063	,571	,854	,854
	Riqueza_s	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral)		-,257	-,742**	,262	-,125	-,574*	,630*	1,000	,056	,487	,487
		N		,355	,002	,346	,657	,025	,012	,053	,844	,065	,065
Diversidad_Shannon_h	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral)		-,416	-,094	,172	,247	-,331	,082	-,159	,056	1,000	,071	
	N		,123	,738	,539	,375	,228	,771	,844	,571	,800	,800	
Indices_Pielou	Coeficiente de correlación Sig. (bilateral)		-,454	-,680**	,655**	,038	-,479	,657**	-,052	,487	,071	1,000	
	N		,089	,005	,008	,894	,071	,008	,065	,800	,071	1,000	
			15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

**Tabla N° 27** Correlacion de Spearman entre los parámetros fisicoquímicos y la estructura comunitaria en Relavera Milpo Andina para las tres campañas. Pasco, Provincia de Pasco. Perú.

Relavera Milpo Andina		Arsenico	Cadmio	Temperatura	pH	Conductividad	Oxigeno	Abundancia	Riqueza	Shannon	Pielou
Rho de Spearman	Asenico_Sedimento										
		Coefficiente de correlación	1,000"	-,483	,493	,756"	-,861"	-,558"	-,904"	-,586"	-,246
		Sig. (bilateral)		,068	,062	,001	,000	,030	,000	,022	,377
		N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Cadmio_sedimento										
		Coefficiente de correlación	1,000"	-,483	,493	,756"	-,861"	-,558"	-,904"	-,586"	-,246
		Sig. (bilateral)		,068	,062	,001	,000	,030	,000	,022	,377
		N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Temperatura										
		Coefficiente de correlación	-,483	1,000	,103	-,274	,420	,470	,465	-,062	-,383
		Sig. (bilateral)	,068		,716	,323	,119	,077	,081	,826	,158
		N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	pH										
		Coefficiente de correlación	,493	,103	1,000	,520	-,596	-,456	-,534	-,366	-,276
		Sig. (bilateral)	,062	,716		,047	,019	,088	,040	,180	,319
		N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Conductividad										
		Coefficiente de correlación	,756"	-,274	,520	1,000	-,810"	-,698"	-,795"	-,521	-,107
		Sig. (bilateral)	,001	,323	,047		,000	,004	,000	,046	,704
		N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Oxigeno_OD										
		Coefficiente de correlación	-,861"	,420	-,596	-,810"	1,000	,761"	,379"	,445	,155
		Sig. (bilateral)	,000	,119	,019	,000		,001	,000	,096	,580
		N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Abundancia_N										
		Coefficiente de correlación	-,558	,470	-,456	-,698"	,761"	1,000	,639	,063	-,267
		Sig. (bilateral)	,030	,077	,088	,004	,001		,010	,825	,337
		N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Riqueza_s										
		Coefficiente de correlación	-,904"	,465	-,534	-,795"	,879"	,639	1,000	,590	,234
		Sig. (bilateral)	,000	,081	,040	,000	,000	,010		,021	,402
		N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Diversidad_Shannon_h										
		Coefficiente de correlación	-,586	-,062	-,366	-,521	,445	,063	,590	1,000	,850"
		Sig. (bilateral)	,022	,826	,180	,046	,096	,825	,021		,000
		N	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	Indice_Pielou										
		Coefficiente de correlación	-,246	-,383	-,276	-,107	,155	-,267	,234	,850"	1,000
		Sig. (bilateral)	,377	,158	,319	,704	,580	,337	,402	,000	
		N	15	15	15	15	15	15	15	15	15

\*\*. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

### 6.5. Evaluación de calidad de lagunas: Índices de biodiversidad y bióticos

Se muestran los resultados de la aplicación de índices biológicos para determinar el estado de conservación de los cuerpos de agua estudiados

#### Índice de Diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ )

Según los valores de diversidad de Shannon-Wiener obtenidos en oct-15, las estaciones de muestreo presentaron calidad de agua Moderadamente poluida. Las estaciones que presentaron valores más altos fueron LHr-1\* y LHr-5 (Laguna Huaroncocha) y RMp-1\*, RMp-2 y RMp-5 (Relavera Milpo Andina). Las que presentaron valores más bajos fueron LHr-2, LHr-3 y LHr-4 (Laguna Huaroncocha y RMp-3 y RMp-4 (Relavera Milpo Andina). Ver **Tabla N°28**

De igual manera, en set-16 las estaciones de muestreo presentaron una calidad de agua Moderadamente poluida. Las estaciones que presentaron valores más altos fueron LHr-2 y LHr-3 (Laguna Huaroncocha) y RMp-4 y RMp-5 (Relavera Milpo Andina). Las que presentaron valores más bajos fueron LHr-1\*, LHr-4 y LHr-5 (Laguna Huaroncocha) y RMp-1\*, RMp-2 y RMp-3 (Relavera Milpo Andina). Ver **Tabla N°28**

En oct-17, las estaciones de muestreo presentaron una calidad de agua desde Moderadamente poluida hasta Fuertemente poluida. Las estaciones que presentaron valores más altos fueron LHr-2, LHr-3 y LHr-4 (Laguna Huaroncocha) y RMp-2 y RMp-3 (Relavera Milpo Andina) considerándose, para este índice, estaciones con calidad del agua moderadamente poluida y las que presentaron valores más bajos fueron LHr-1\* y LHr-5 (Laguna Huaroncocha) y RMp-1\*, RMp-4 y RMp-5 (Relavera Milpo Andina) considerándose, para este índice, estaciones con calidad del agua Fuertemente poluida. Ver **Tabla N°28**.

**Tabla N° 28** Diversidad de Shannon-Wiener promedio de invertebrados acuáticos y calidad del agua en estaciones de muestreo de la Laguna Huaroncocha, Relavera Milpo Andina y Laguna Yanamate para los muestreos (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017). Pasco, Provincia de Pasco. Perú.

ESTACIÓN	SHANNON- WIENER H'(LOG2)					
	24/10/15	CALIDAD DEL AGUA	21/09/16	CALIDAD DEL AGUA	01/10/17	CALIDAD DEL AGUA
<b>LAGUNA HUARONCOCHA</b>						
LHr-1*	2.22	Moderadamente poluida	1.31	Moderadamente poluida	0.95	Fuertemente poluida
LHr-2	1.83	Moderadamente poluida	1.75	Moderadamente poluida	1.59	Moderadamente poluida
LHr-3	1.92	Moderadamente poluida	1.66	Moderadamente poluida	1.07	Moderadamente poluida
LHr-4	1.92	Moderadamente poluida	1.33	Moderadamente poluida	1.25	Moderadamente poluida
LHr-5	2.06	Moderadamente poluida	1.53	Moderadamente poluida	0.90	Fuertemente poluida
<b>RELAVERA MILPO ANDINA</b>						
RMp-1*	2.14	Moderadamente poluida	2.10	Moderadamente poluida	0.83	Fuertemente poluida
RMp-2	2.31	Moderadamente poluida	2.22	Moderadamente poluida	1.74	Moderadamente poluida
RMp-3	1.82	Moderadamente poluida	2.30	Moderadamente poluida	1.63	Moderadamente poluida
RMp-4	1.51	Moderadamente poluida	2.47	Moderadamente poluida	0.29	Fuertemente poluida
RMp-5	2.22	Moderadamente poluida	2.53	Moderadamente poluida	0.44	Fuertemente poluida
<b>LAGUNA YANAMATE</b>						
LYe-1*	0	Fuertemente poluida	0	Fuertemente poluida	0	Fuertemente poluida
LYe-2	0	Fuertemente poluida	0	Fuertemente poluida	0	Fuertemente poluida
LYe-3	0	Fuertemente poluida	0	Fuertemente poluida	0	Fuertemente poluida
LYe-4	0	Fuertemente poluida	0	Fuertemente poluida	0	Fuertemente poluida
LYe-5	0	Fuertemente poluida	0	Fuertemente poluida	0	Fuertemente poluida

### Índice Biótico Andino (por sus siglas en inglés ABI)

Según los valores del ABI obtenidos en la época seca, las lagunas muestreadas (Sin considerar Laguna Yanamate) presentaron un estado ecológico de moderado a buena. Ver **Tabla N° 29**.

**Tabla N° 29** Valor de estado ecológico ABI utilizando macroinvertebrados acuáticos en las tres campañas de muestreo en Laguna Huaroncocha, Relavera Milpo Andina y Laguna Yanamate. Pasco, Provincia de Pasco. Perú.

ABI (PERÚ)	CALIDAD	LAGUNA HUARONCOCHA			RELAVERA MILPO ANDINA			LAGUNA YANAMATE		
		2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
> 74	Muy buena									
45 - 74	Bueno	45			54					
27 - 44	Moderado		37	30		44	34			
14 - 26	Malo									
< 11	Pésimo							0	0	0

### Índice de Monitoreo Biológico adaptado para Colombia (por sus siglas en inglés BMWP/Col)

Según los valores del BMWP/Col, considerando la macrofauna acuática, en la primera campaña (oct-15), las estaciones de muestreo presentaron una calidad del agua desde aceptable hasta crítica. Las estaciones que presentaron valores más altos fueron LHR-1\* (Laguna Huaroncocha) y RMP-1\* (Relavera Milpo Andina) siendo consideradas como estaciones con calidad del agua dudosa y aceptable respectivamente. Las que presentaron valores más bajos fueron LHR-4 (Laguna Huaroncocha) y RMP-5 (Relavera Milpo Andina) considerándose estaciones con calidad del agua crítica y dudosa respectivamente. Ver **Tabla N° 30**.

En set-16 las estaciones de muestreo presentaron una calidad de agua desde Dudosa a crítica. Las estaciones que presentaron valores más altos fueron LHR-1\* (Laguna Huaroncocha) y RMP-5 (Relavera Milpo Andina) considerándose estaciones con calidad de

agua dudosa. Las que presentaron valores más bajos fueron LHR-3 y LHR-4 (Laguna Huaroncocha) y RMP-4 (Relavera Milpo Andina) considerándose estaciones con calidad del agua crítica y dudosa respectivamente. Ver **Tabla N° 30**.

En oct-17, las estaciones de muestreo presentaron una calidad de agua desde crítica y muy crítica. Las estaciones que presentaron valores más altos fueron LHR-2 (Laguna Huaroncocha) y RMP-2 (Relavera Milpo Andina) considerándose estaciones con calidad del agua crítica. Las que presentaron valores más bajos fueron LHR-5 (Laguna Huaroncocha) y RMP-4 (Relavera Milpo Andina) considerándose estaciones con calidad del agua muy crítica. Ver **Tabla N° 30**.

**Tabla N° 30** Valores del BMWP/ Col utilizando la macrofauna acuática y calidad del agua de Laguna Huaroncocha, Relavera Milpo Andina y Laguna Yanamate para los tres muestreos. Pasco, Provincia de Pasco. Perú.

ESTACIÓN	BMWP/COL (MACROFAUNA ACUÁTICA)					
	24/10/15	CALIDAD DEL AGUA	21/09/16	CALIDAD DEL AGUA	01/10/17	CALIDAD DEL AGUA
<b>LAGUNA HUARONCOCHA</b>						
LHR-1*	57	Dudosa	38	Dudosa	20	Crítica
LHR-2	32	Crítica	34	Crítica	32	Crítica
LHR-3	43	Dudosa	23	Crítica	16	Crítica
LHR-4	24	Crítica	23	Crítica	25	Crítica
LHR-5	35	Crítica	31	Crítica	13	Muy crítica
<b>RELAVERA MILPO ANDINA</b>						
RMP-1*	62	Aceptable	38	Dudosa	28	Crítica
RMP-2	61	Aceptable	46	Dudosa	29	Crítica
RMP-3	59	Dudosa	40	Dudosa	26	Crítica
RMP-4	61	Aceptable	37	Dudosa	2	Muy crítica
RMP-5	48	Dudosa	53	Dudosa	8	Muy crítica
<b>LAGUNA YANAMATE</b>						
LYe-1*	0	Muy crítica	0	Muy crítica	0	Muy crítica
LYe-2	0	Muy crítica	0	Muy crítica	0	Muy crítica
LYe-3	0	Muy crítica	0	Muy crítica	0	Muy crítica
LYe-4	0	Muy crítica	0	Muy crítica	0	Muy crítica
LYe-5	0	Muy crítica	0	Muy crítica	0	Muy crítica



### Puntaje Promedio por Taxon (por sus siglas en inglés ASPT)

Según los valores del ASPT, considerando la entomofauna acuática, obtenidos en oct-15, las estaciones de muestreo presentaron una calidad de agua pobre. Las estaciones que presentaron los valores más altos fueron LHR-1\* (Laguna Huaroncocha) y RMP-5 (Relavera Milpo Andina) y las que presentaron los valores más bajos fueron LHR-4 (Laguna Huaroncocha) y RMP-1\* (Relavera Milpo Andina). Ver **Tabla N° 31**.

En set-16 las estaciones de muestreo presentaron una calidad de agua desde moderadamente pobre a pobre. Las estaciones que presentaron valores más altos fueron LHR-5 (Laguna Huaroncocha) y RMP-2 (Relavera Milpo Andina) considerándose como calidad de agua pobre y moderadamente pobre respectivamente. Las que presentaron valores más bajos fueron LHR-4 (Laguna Huaroncocha) y RMP-1\* (Relavera Milpo Andina) considerándose en ambos casos con calidad del agua pobre. Ver **Tabla N° 31**.

De igual forma que en la época anterior, en oct-17, las estaciones de muestreo presentaron una calidad de agua desde moderadamente pobre a pobre. Las estaciones que presentaron valores más altos fueron LHR-1\* (Laguna Huaroncocha) y RMP-5 (Relavera Milpo Andina) considerándose con calidad de agua pobre y moderadamente pobre respectivamente. Las que presentaron valores más bajos fueron LHR-3 (Laguna Huaroncocha) y RMP-4 (Relavera Milpo Andina) considerándose en ambos casos con calidad del agua pobre. Ver **Tabla N° 31**.

**Tabla N° 31** Valores del ASPT utilizando la macrofauna acuática y calidad del agua en la Laguna Huaroncocha, Relavera Milpo Andina y Laguna Yanamate para los tres muestreos. Pasco, Provincia de Pasco. Perú.

ESTACIÓN	ASPT (MACROFAUNA ACUÁTICA)					
	24/10/15	CALIDAD DEL AGUA	21/09/16	CALIDAD DEL AGUA	01/10/17	CALIDAD DEL AGUA
<b>LAGUNA HUARONCOCHA</b>						
LHr-1*	3.80	pobre	3.45	pobre	3.33	pobre
LHr-2	3.20	pobre	3.78	pobre	3.20	pobre
LHr-3	3.31	pobre	3.83	pobre	2.67	pobre
LHr-4	3	pobre	3.29	pobre	3.13	pobre
LHr-5	3.50	pobre	3.88	pobre	3.25	pobre
<b>RELAVERA MILPO ANDINA</b>						
RMp-1*	3.10	pobre	2.71	pobre	3.50	pobre
RMp-2	3.39	pobre	4.18	Moderadamente pobre	3.22	pobre
RMp-3	3.47	pobre	3.64	pobre	2.60	pobre
RMp-4	3.39	pobre	2.85	pobre	1	pobre
RMp-5	3.69	pobre	3.79	pobre	4	Moderadamente pobre
<b>LAGUNA YANAMATE</b>						
LYe-1*	0	pobre	0	pobre	0	pobre
LYe-2	0	pobre	0	pobre	0	pobre
LYe-3	0	pobre	0	pobre	0	pobre
LYe-4	0	pobre	0	pobre	0	pobre
LYe-5	0	pobre	0	pobre	0	pobre

## VII. DISCUSIÓN

La caracterización ambiental describió en las estaciones de muestreo una estabilidad en las características físicas para la laguna huarancocha y Laguna Yanamate en los tres muestreos. Sin embargo en la Relavera Milpo Andina las variaciones físicas fueron notorias en relación a la profundidad media (m) por efecto del incremento de las descargas de relave situadas en RMp-3 y RMp-5, provocando una reducción detectables y evidente en los momentos de muestreo. La hidrología nos expone que disponibilidad climática del agua en forma de precipitaciones para las cuencas estudiadas fue baja en los muestreos de Set-16 respecto de la primera y tercera fecha evaluada (oct-15 y oct-17 respectivamente). Sin embargo para el caso de la Relavera Milpo Andina, el incremento de relaves debería provocar un aumento de volumen y rebalse del agua depositada, no obstante, la evidencia in situ nos mostro un consumo de sus aguas para actividades del campamento minero que en efecto devino en el deterioro acelerado de este cuerpo de agua y una disminución progresiva de la calidad de agua en Laguna Huarancocha y Relavera Milpo Andina y Laguna Yanamate.

La composición y diversidad de la fauna de los invertebrados acuáticos puede reflejar la situación del sistema acuático y mostrar una gran variabilidad en condiciones naturales. Esto dependerá de las características físicas, climáticas y geomorfológicas en las cuales reside (Barbour et al., 1999; Green & Swietlik, 2000). En este estudio se observaron cambios en la composición de las comunidades de invertebrados, provocadas principalmente por el impacto de las actividades mineras (Relavera Milpo Andina y Laguna Yanamate) donde el impacto generado por la minería presenta su mayor extensión, más que por condiciones naturales (Laguna Huarancocha). Estas diferencias en la Relavera Milpo Andina se reflejan notoriamente en el Arsénico (As), Cadmio (Cd) y Conductividad eléctrica (CE), las cuales se corresponden con el gradiente de disminución de la calidad biológica que se refleja en cambios de distintos atributos de la composición bentónica al desaparecer familias sensibles a la contaminación y el predominio de aquellas resistentes (Cao et al., 1997), de modo que la

Clase Insecta para la Laguna Huaroncocha fue la más representativa y abundante con el Orden Díptera, en donde la familia Chironomidae presento mayor riqueza y abundancia (4 especies y 265 individuos) seguido del Orden Haplotaenidia, Amphipoda y el orden Calanoida. En la Relavera Milpo el orden mas representativo fue también Díptera, agrupada en 7 familias en donde la familia Chironomidae fue la de mayor riqueza y abundancia, seguidos del Orden Coleoptera y Haplotaenidia y el orden Podocopa y Cyclopoida. Se identificaron un total de 23 familias para Relavera milpo andina y 17 familias para Laguna Huaroncocha, con una abundancia total de 647 individuos para la Laguna Huaroncocha, 1011 individuos en la Relavera Milpo Andina, y de cero individuos para la Laguna Yanamate, exponiendo que Relavera milpo fue la mas abundante y diversa en el primer y segundo muestreo; y Laguna Huaroncocha en el primer y tercer muestreo. En general, los metales pesados y conductividad eléctrica elevada, son factores limitantes para los organismos acuáticos, esto fue tambien comprobado en Laguna Yanamate que a pesar de presentar temperatura y oxígeno disuelto cercano a los ECAS, no registró presencia de organismos vivos solo exuvia de quironómidos.

Dichos cambios en la comunidad biológica en estudio son correctamente interpretados por el Análisis de Correspondencias Canónico (ACC) de Relavera Milpo Andina, cuyos ejes explican el 80.38% de varianza total influenciada principalmente por oxígeno disuelto (OD), arsénico (As), Cadmio (Cd) y Conductividad eléctrica (CE) y que ademasl presenta una muy buena discriminación entre localidades de estudio y control. Por su parte la Laguna Huaroncocha, cuyos ejes canónicos explican un 72.93% de la varianza total, y al no encontrarse con un impacto minero directo, el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y la comunidad biológica estudiada, resulta en cambios naturales relacionados con Oxígeno disuelto (OD), temperatura (T°) y cadmio (Cd) los cuales se estabilizan con la entrada de volumen de agua en epoca humeda. (Vivas et al., 2002)

Respecto a los metales estudiados se observa para Relavera Milpo Andina valores muy por encima de los ECA en arsénico en sus sedimentos, y

cadmio para sus aguas. En la Laguna Yanamate, el arsénico supera los ECA tanto en agua como en sedimento; y cadmio solo en aguas llegando a niveles tóxicos. Estos metales llegan a los sistemas acuáticos a través de descargas directas, precipitación y erosión. Los sedimentos incorporan y acumulan los metales que llegan al ambiente lacustre, siendo alto el tiempo de residencia, con frecuencia el daño a los organismos es de nivel medio para los animales y alto para las plantas; ocasionando en el caso del arsénico mecanismos de toxicidad en la inhibición de la actividad enzimática y respiración celular de los seres vivos, mientras que el cadmio produciría la inhibición de numerosas enzimas debido a la fuerte unión del Cd a los grupos -SH de las mismas y la reducción de la dureza de las partes duras de los invertebrados, volviéndolos frágiles y letales ante golpes (Yamashita & Col, 2005).

En esta investigación, ha sido posible distinguir que la mayor diversidad en la Relavera Milpo Andina se limita a la parte de su cuenca alimentada por riachuelos tributarios (Rmp-1\*), disminuyendo considerablemente en el perímetro donde se encuentran tubos de descarga de relave, en donde, órdenes de reconocida sensibilidad como Ephemeroptera (Rabeni & Wald, 2001), desaparecen al no tolerar el aumento de la cantidad de metales vertidos y el tiempo de exposición. Mientras que grupos oportunistas como quironómidos, cuya presencia da un mejor valor taxonómico sobre la identificación de patrones ambientales han sido evidenciados con anterioridad (Wymer & Cook, 2003; Rossaro et al., 2006). Considerando que dicha familia fue registrada en todas las estaciones de muestreo y representó más del 37% en abundancia del total de la comunidad de invertebrados, presentando una amplia distribución y diversidad en Relavera Milpo Andina como en Laguna Huaroncocha, los quironómidos han sido considerados frecuentemente como potenciales organismos indicadores en el monitoreo de perturbaciones (Saether, 1979; Lenat, 1983).

La prueba estadística de Kruskal-Wallis demostró que no existen diferencias significativas temporales y espaciales en la abundancia de la Laguna Huaroncocha, siendo la estación LHR-1\* la de mayor abundancia promedio

entre las tres fechas evaluadas. En la Relavera Milpo Andina si existen diferencias temporales y espaciales en su abundancia, sobretodo en Oct-17 donde las cantidades de relave depositado eran excesivas e irrecognocibles. Así mismo, la estación RMp-1\* fue la que presento mayor promedio de abundancia frente a las de “estudio” ya que se encuentra en una vertiente permamnente de agua limpia. La Laguna Yanamate no reporto valores de abundancia para ninguna estación de muestreo de las fechas evaluadas.

Por otro lado, la diversidad en la Laguna Huaroncocha si presento diferencias significativas temporales y espaciales, excepto en set-16 y Oct-17. Mientras que el la Relavera Milpo Andina también presenta diferencias significativas temporales y espaciales, excepto en Oct-15. La equidad para laguna huaroncocha si presenta diferencias significativas temporales pero no espaciales. Relavera Milpo Andina también presento diferencias espacio temporales, excepto en oct-17.

El análisis de similitud (ANOSIM) revela que existe heterogeneidad temporal de la comunidad de invertebrados acuáticos en las tres fechas muestreadas para la Laguna Huaroncocha y Relavera Milpó Andina, respaldado con un valor SIMPER de disimilitud media de 45.03% y 63.44% respectivamente

El agrupamiento nMDS en Laguna Huaroncocha mostro el agrupamiento de los puntos de muestreo en 3 grupos claramente diferenciados con similitud del 51%, en donde los mayores porcentajes de contribución de abundancia son explicados por la familia Chironomidae (*Chironomus*) y, Hyalellidae (*Hyalella*), en las tres fechas de muestreo. Por su parte la Relavera Milpo Andina también se observaron 3 grupos claramente diferenciados con similitud de 63%, en donde la mayor contribución se explica por las familias Chironomidae (Orthocladiinae (subfamilia), *Chironomus*, *Podonomus*, Tanypodinae (subfamilia)) y Ostracoda Nd, en las tres fechas de muestreo

La correlacion entre los parámetros fisicoquímicos y la estructura comunitaria presento un alto nivel de correlacion significativa entre el oxigeno y riqueza con el cadmio; temperatura y riqueza con arsénico para la

Laguna Huaroncocha. Mientras que en Relavera Milpo Andina, existe un alto nivel de correlación significativa, principalmente en riqueza y arsénico, cadmio y oxígeno con conductividad, oxígeno con arsénico y cadmio.

La calidad de aguas de las lagunas fueron de Moderadamente poluida a Fuertemente poluida para Laguna Huaroncocha y Relavera Milpo Andina; y Fuertemente poluida para laguna yanamate; según la Diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ). El Índice Biótico Andino señala calidad de aguas de bueno a moderado para Laguna Huaroncocha y Relavera Milpo Andina y pésimo para Laguna Yanamate. El índice BMWP/Col determino calidad de aguas de dudosa a critica para Laguna Huaroncocha; aceptable a muy critica para Relavera Milpo Andina y muy critica para Laguna Yanamate. Mientras que el índice ASPT considero calidad de agua pobre a la laguna huaroncocha y laguna yanamate; y de moderadamente pobre a pobre para la relavera milpo andina, observándose una clara tendencia a la disminución de calidad de agua, en forma irreversible en las zonas vinculadas al incremento de los volúmenes de sedimento relavero en Relavera Milpo Andina en respuesta a la actividad minera,

Diferentes estudios en ambientes contaminados con metales pesados han demostrado que existe una gran reducción de la diversidad de invertebrados bentónicos aunque no afecta la abundancia. Winner et al., (1980) observaron que los chironómidos componían numéricamente el 80 % de la fauna total en una sección de un pequeño arroyo en Ohio altamente contaminado con Cu, Cr y Zn, mientras que en una sección no contaminada constituían menos del 10 %. Sin embargo, el número de especies se había reducido en las áreas contaminadas, siendo reemplazadas por especies tolerantes en comparación con las estaciones control. Krantzberg & Stokes (1989), en los experimentos de laboratorio han mostrado bioacumulación de metales pesados en *Chironomus* bajo diferentes condiciones de exposición, adquiriendo una selectividad a la captura de ciertos metales. Si comparamos con los resultados se verifica un aumento de los quironómidos en especial de la especie *Chironomus* en los puntos más contaminados, pudiendo considerarse tolerante a la presencia de metales pesados, sin embargo en el

punto RMp-5 cercano al efluente se observa una disminución de hasta el 75% de la población en los tres muestreos en comparación a los demás puntos.



## VIII. CONCLUSIONES

- Relavera Milpo Andina presentó mayor riqueza y abundancia en la primera y segunda campaña que Laguna Huaroncocha por el recambio constante de agua en el punto RMp-1\*. Laguna Yanamate, no registró especies en las campañas evaluadas, por el grado de acidez de sus aguas y elevada concentración de metales pesados en sedimento y agua.
- La distribución final de la dinámica comunitaria es determinada por el oxígeno y riqueza con el cadmio; temperatura y riqueza con arsénico para la Laguna Huaroncocha. Mientras que en Relavera Milpo Andina, existe un alto nivel de correlación significativa, principalmente en riqueza y arsénico, cadmio y oxígeno con conductividad, oxígeno con arsénico y cadmio.
- Los índices de diversidad de Shannon-Wiener y de equidad de Pielou, al igual que el análisis multivariado ANOSIM y nMDS señalan diferencias significativas en las tres campañas que fueron observadas in situ.
- El Análisis Canónico de Correspondencia (ACC) para Laguna Huaroncocha y Relavera Milpo Andina mostró que los parámetros que mejor explican la dinámica comunitaria son oxígeno disuelto (OD), arsénico (As), Cadmio (Cd) y Conductividad eléctrica (CE); y Oxígeno disuelto (OD), temperatura ( $T^{\circ}$ ) y cadmio (Cd) respectivamente.
- La familia Chironomidae y Corixidae, que son taxones presentes en las tres fechas de muestreo tienen tolerancia a metales pesados en la Relavera Milpo Andinas.
- Los índices biológicos evaluados mostraron aguas de calidad moderadamente poludida a fuertemente poludida (Índice Shannon-Wiener), bueno a pésimo (ABI), aceptable a crítica (BMWP/Col) y moderadamente pobre a pobre (ASPT). Y se ajustan a las condiciones reales encontradas en este muestreo.

## **IX. RECOMENDACIONES**

- Evaluar la presencia de deformaciones en invertebrados como indicador de contaminación por metales pesados.
- Se sugiere seguir los estudios en el punto RMP-1\* ya que se encuentra cerca de una pequeña quebrada de agua natural permanente, a fin de determinar deformaciones en el pequeño ecosistema formado, rodeado de relave minero que va de mayor gradiente de concentracion en direccion al centro de la laguna.
- Ampliar estudios ecológicos como químicos en el monitero de cuerpos de agua dulce lenticos, para lograr un mejor conocimiento de los ecosistemas acuáticos impactados por actividades como la minería.
- Incrementar los estudios periodicos de metales pesados para tener un registro de su variación y conocer el ciclo de degradación de lagunas, para prevenir el límite de contaminación, preservar la vida acuática e iniciar su recuperación.

## X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R., B. Ríos, M. Rieradevall & N. Prat. 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica* 28: 35-64.
- Agricola, G., 1556, *De Re Metallica*, H. Hoover and L. Hoover (trans.), Dover Publications, New York
- Alba Javier. 2005. Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva Marco del Agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro. Protocolos de muestreo y análisis para invertebrados bentónicos. Ministerio de Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Ebro. 27pp.
- Álvarez, J., Sotero, V., Brack, A. y Ipenza, C.A. (2011). La Minería aurífera en Madre de Dios: Una Bomba de tiempo. Recuperado de <http://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39523>
- Aparicio R., Mejía A., Ingol-Blanco E. 2014. Tratamiento del Drenaje Acido de Mina mediante Bacterias Sulfato-reductoras: Caso Unidad Minera Iscaycruz. XII Congreso Latinoamericano de Hidrogeología Santiago, Chile, Agosto 2014.
- Autoridad Nacional del Agua (2010). Evaluación de Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Mantaro [en línea]. [Fecha de acceso Noviembre de 2014]. URL disponible en: <http://www.ana.gob.pe/media/390314/evaluacion%20rh%20superficiales%20rio%20mantaro.pdf>
- Barbour, M.T., J. Gerrisen, B. Snyder & S. James. 1999. Rapid Bioassessment Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish (Second ed.). Washington, DC 20460: U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water.
- Birk, S., W. Bonne, A. Borja, S. Brucet, A. Courrat, S. Poikane, A. Solimini, W. van de Bund, N. Zampoukas, D. 2012. Hering Three hundred ways to assess Europe's surface waters: an almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive Ecol. Indic, 18: 31–41
- Bis, B., A. Zdanowicz & M. Zalewski. 2000. Effects of catchment properties on hydrochemistry, habitat complexity and invertebrate community structure in a lowland river. *Hydrobiology* 422: 369-387.
- Borkent, A. & G. R. Spinelli. 2007. Neotropical Ceratopogonidae (Diptera: Insecta). In: Adis, J., J. R. Arias, G. Rueda-Delgado & K. M. Wattzen

- (Eds): Aquatic Biodiversity in Latin America (ABLA). Vol 4. Pensoft Publishers, Sofia-Moscow, 198 pp
- Brower, J. E. & J.H. Zar. Field and laboratory methods for General Ecology. Wm. C. Brown Co. Dubuque, Iowa. 1984. 226 pp
- Camefort, M. 1972. Morphologie des Végétaux Vasculaires. 2da ed. Doin, Éditeurs
- Cao, Y., A. Bark & P. Williams. 1997. Analysing benthic macroinvertebrate community changes along a pollution gradient: a framework for the development of biotic indices. Water Research 31: 884-892.
- Chacón Roldán, Gloria, 1972. Estudio Limnológico de las Lagunas Minero-Medicinales del Balneario de Chilca, Lima-Perú, con consideración especial del género *Chlorella*. Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias Biológicas, Lima-Perú. 363 páginas
- S. L. Chen, S. J. Yeh, M. H. Yang, T. H. Lin Trace element concentration and arsenic speciation in the well water of a Taiwan area with endemic Blackfoot disease. Biological Trace Element Research June 1995, Volume 48, Issue 3, pp 263–274
- Chocano, L. 2005. Las zonas altoandinas peruanas y su ictiofauna endémica. Revista Digital Universitaria [en línea]. 10 de agosto de 2005, Vol. 6, No. 8. [Consultada: 20 de agosto de 2015]. URL disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num8/art82/int82.htm> ISSN: 1607-6079.
- Clarke, K. R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure, Australian Journal of Ecology 1993. 18: 117-143
- Correa F., R. Rivera, J. Urrutia, P. De los Ríos, A. Conteras & F. Encina.. Efectos de una zona urbana sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de un ecosistema fluvial del sur de Chile. Limnetica 2010. 29(2): 183-194.
- De la Fuente Álvaro M.J. (Ed.) 2007. Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva Marco del Agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro. Protocolos de muestreo y análisis para fitoplancton, fitobentos (microalgas bentónicas), macrofitos, invertebrados bentónicos, ictiofauna. Ministerio de Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Ebro. 155pp
- Dejoux C. & A. Ittis. 1991. El Lago Titicaca. Síntesis del Conocimiento Limnológico. Actual ORSTM Imp. Talleres Gráficos Hisbol. La Paz–Bolivia. 578 pp.

- Domínguez, E. & H. Fernández. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos (Primera ed.). San Miguel de Tucumán-Argentina: Fundación Miguel Lillo. 654pp.
- Figueroa R, E Araya & C Valdovinos (2000) Deriva de macroinvertebrados bentónicos en un sector de río: Río Rucúe, Chile centro-sur. Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción (Chile) 71: 23-32.
- Galbrand C., I.G. Lemieux, A.E. Ghaly, R. Côté and M. Verma. 2007. Assessment of Constructed Wetland Biological Integrity Using Aquatic Macroinvertebrates. OnLine Journal of Biological Sciences 7 (2): 52-65.
- Green, J, & W. Swietlik. 2000. A Stream Condition Index (SCI) for west Virginia wadeable stream. Tetra Tech: 80 pp.
- Guevara, G., C Jara, M. Mercado & S. Elliott. Comparación del macrozobentos presente en arroyos con diferente tipo de vegetación ribereña en la Reserva Costera Valdiviana, Sur de Chile. Asociación colombiana de Limnología "Neolimnos" 2006. 1:98-105.
- Guiller, P.S. & B. Malmqvist 1998. The biology of streams and rivers. Oxford University Press, Oxford.
- Hammer, Ø., D. A. T. Harper & P. D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Paleontología Electrónica 4(1): 9 pp.
- Hanson P., Springer M., Ramirez A.. (2010) Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos CAP.1. Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica Rev. biol. trop vol.58 suppl.4 San José Dec. 2010 URL disponible en: <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v58s4/a01v58s4.pdf>
- Hauer, F. & G. Lamberti. 1996. Methods in stream ecology. Academic Press, New York, New York, USA. 674 pp.
- Huaman M.P., M.G. Mariano, M.E. Chanco, et al. 2002. Estructura del macrobentos de la laguna de Paca, Junín. Rev peru biol. 9(1):29-38.
- Huamantínco A. A. & Ortiz, W. 2010. Clave de géneros de larvas de Trichoptera (Insecta) de la Vertiente Occidental de los Andes, Lima, Perú. Revista peruana de biología 17(1): 075- 080.
- Iannaccone, J., Mansilla, J. & Ventura, K. 2003. Macroinvertebrados en las lagunas de Puerto Viejo. Lima, Perú. Ecol. Apl. 2(1):116-124.
- Johnson et al., 1993 R.K. Johnson, T. Wiederholm, D.M. Rosenberg Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations, and species assemblages of benthic macroinvertebrates Freshwater

- Biomonitoring and Benthic Invertebrates, Chapman and Hall (1993), pp. 40–158
- Krantzberg, G. & P. M. Stokes. 1989. Metal regulation, tolerance, and body burdens in the larvae of the genus *Chironomus*. *Can. J. Fish. and Aqu. Sci.* 46: 389-398.
- Lenat, D. R. 1983. Chironomid Taxa Richness: Natural Variation and Use in Pollution Assessment. *Freshwater Invertebrate Biology* 2 (4): 192-
- Leslie HA, Pavluk T, DE Vaate AB, & Kraak MH. Triad assessment of the impact of chromium contamination on benthic macroinvertebrates in the Chusovaya river (Urals, Russia). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1999;37:182-189.
- Machacca Hanco, Ernesto S., 2013. Determinación de los Metales Pesados en la Laguna Choquene, Quilcapunco – Putina – Puno. Universidad Nacional del Altiplano Puno – Perú. *Rev. Investig. Altoandín.* 2013; Vol 15 Nro 2: 213 – 224
- Manzo V. & M. Archangelsky. 2008. A key to the known larvae of South American Elmidae.
- Manzo V. 2005. Key to the South America genera of Elmidae (Insecta: Coleoptera) with distributional data. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, December; 40(3): 201-208.
- Mellado, A., M. L. Suárez, J. M. Moreno & M. R. Vidal-Abarca. 2002. Aquatic macroinvertebrate biodiversity in the Segura River Basin (SE Spain). *Verhandlungen der internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 28: 1157-1162
- Merritt, R. & K. W. Cummins. 1996. An introduction to the Insects of North America (Tercera ed.). Iowa, USA: Kendall Hunt Publishing.
- Ministerio de Energía y Minas (MEN), 2016. Boletín Estadístico del Subsector Minero Según ESTAMIN Diciembre 2016. APARTADO 8 ACTIVIDAD MINERA. URL disponible en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/VARIABLES/2016/DICIEMBRE.pdf>
- Moreno C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Manuales y Tesis SEA. Sociedad Entomológica Aragonesa Ed. Madrid, España.
- Nerbonne, B. A. & B. Vondracek. 2001. Effects of local land use on physical habitat, benthic macroinvertebrate, and fish in the Whitewater River, Minnesota, USA. *Environmental Management* 28: 87-99.
- Norris, R. H. & C. P. Hawkins. 2000. Monitoring river health. *Hydrobiology* 435: 5-17. EPA. 1990. Biological criteria: National program

guidance for surface waters. Washington, DC: Environmental Protection Agency; Office of water regulation and standards. 68 pp.

Ogbeibu AE & Oribhabor BJ. 2002. Ecological impact of river impoundment using benthic macro-invertebrates as indicators. *Water Res.* 2002;36: 2427-2436.

ONERN, 1982- Inventario y evaluación semidetallada de los recursos naturales de la zona del Rio Pichis – Palcazu. 112 p

Oscoz, J., F. Campos & M. C. Escala. 2006. Variación de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. *Limnetica* 25 (3): 683-692.

Pacheco T. Jorge A. (2004). Envenenamiento Lento de Lagos. *Revista Latino –Americana de Hidrogeología*, n.3, pp. 99- 109. Lima Perú.

Prat N. & M. Rieradevall. 1998. Criterios de evaluación de la calidad del agua en lagos y embalses basados en los macroinvertebrados bentónicos. *Act. Biol.* 20(9): 137-147.

Prat, N., M. Rieradevall, R. Acosta & C. Villamarín. 2011. Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Díptera) de los ríos altoandinos de Ecuador y Perú. Clave para la determinación de los géneros. <http://www4.ub.edu/riosandes/>

Prat, N., A. Munné, M. Rieradevall, C. Solà & N. Bonada. 2001. ECOSTRIMED. Protocolo para determinar el estado ecológico de los ríos mediterráneos. Barcelona: PAVÉ, P. & MARCHESE, M. 2005. "Invertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua en ríos urbanos (Paraná-Entre Ríos, Argentina)". (en) *Ecología Austral* 15:183-197.

Pinilla, G. 2000. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: compilación bibliográfica. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia. 67 págs.

Rabeni, C. F. & N. Wald. 2001. Bioassessment of streams using macroinvertebrates: are the chironomidae necessary?. *Environmental Monitoring and Assessment* 71: 177-185.

Resh and Jackson, 1993 V.H. Resh, J.K. Jackson Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates D.M. Rosenberg, V.H. Resh (Eds.), *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*, Chapman and Hall, New York (1993), pp. 195–223.

- Rieradevall M, Prat N. 1998. Criterios de evaluación de la calidad de agua en lagos y embalses basados en los macro invertebrados bentónicos. *Actual Biol* 20 (69): 137-147. 140pp.
- Roldán G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/ Col. Primera Edición. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia.
- Rosenberg D.M., V.H. Resh and R.S. King. 2008. Use of Aquatic Insects in Biomonitoring. In: Merritt R.W., K.W. Cummins and M.B Berg (Eds.). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Kendall/Hunt Publishing Company. United States of America.
- Roldán, G. 1996. Guía para el estudio de macroinvertebrados del departamento de Antioquia Universidad de Antioquia (Primera ed.). Bogota-Colombia: Universidad de Antioquia. 217 pp.
- Roldan, G. 1992. Fundamentos de Limnología neotropical 2ª Edición. Universidad de Antioquia, bogota Colombia 49pp.
- Rosero D., 2007. Métodos de campo para el muestreo de parámetros físico – Químicos en agua.
- Rossaro, B., V. Lencioni, A. Boggero, & L. Marziali. 2006. Chironomids from Southern Alpine running waters: ecology, biogeography. *Hydrobiologia* 562: 231-246.
- Royer T., C. Robinson & G. Minshall. Development of Macroinvertebrate-Based index for bioassessment of Idaho Rivers. *Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua* 63 *Environmental Management*. 2001; 27(4):627-636.
- Saether, O. A. 1979. Chironomid communities as water quality indicators. *Holarctic Ecology* 2 (2): 65-73.
- Segnini S. 2003. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Sociedad Venezolana de Ecología*. *ECOTROPICOS* 16(2):45-63
- Torralva, M. M., F. J. Oliva, N. A. Ubero-Pascal, J. Malo & M. A. Puig. 1996. Efectos de la regulación sobre los macroinvertebrados en el río Segura (S.E. España). *Limnética* 11 (2): 49-56.
- Vick, S., Villachica, C., Mogrovejo, J., Calzado, L., Julio 1995, "Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros", Ministerio de Energía y Minas, Lima. URL disponible en: [http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/relavemi\\_nero.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/relavemi_nero.pdf)



- Vivas, S., J. Casas, I. Pardo, S. Robles, N. Bonada, A. Mellado, N. Prat, J. Alba-Tercedor, M. Álvarez, M. M. Bayo, P. Jáimez-Cuéllar, M. L. Suárez, M. Toro, M. R. Vidal-Abarca, C. Zamora-Muñoz & G. Moyá. 2002. Aproximación multivariante en la exploración de la tolerancia ambiental de las familias de macroinvertebrados de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. *Limnetica* 21: 149-173.
- Wantzen K.M. y G. Rueda. 2009. Técnicas de muestreo de Macroinvertebrados bentónicos. 17-40. En: Domínguez E. y H. Fernández (Eds.) *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y Biología*. Ed Fundacion Miguel Lillo. Tucumán, Argentina.
- Welch, E. B. 1992. Ecological effects of wastewater. *Applied limnology and pollutant effects*. 2ª ed. Chapman & Hall. 425 pp.
- Winner R., Boessel M. & Farrel M. 1980. Insect community structure as an index of heavy metal pollution in lotic ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 37: 647-655.
- Wymer, D. A. & S. B. Cook. 2003. Effects of Chironomidae (Diptera) Taxonomic Resolution on Multivariate Analyses of Aquatic Insect Communities. *Journal of Freshwater Ecology* 18 (2): 179-186.
- Yamashita Y., Y. Omura & E. Okazaki. 2005. Total mercury and methylmercury levels in commercially important fishes in Japan. *Fish. Sci.*, 71 (5): 1029-1035.
- Zapata Valle, Rómulo, 1973. Aguas minerales del Perú (Primera Parte). Ministerio de Energía y Minas, Servicio de Geología y Minería. Estudios Especiales N° 1, Lima-Perú. 185 páginas.
- Zapata Valle, Rómulo, 1974. Aguas minerales del Perú (Segunda Parte). Ministerio de Energía y Minas, Servicio de Geología y Minería. Estudios Especiales N° 2, Lima-Perú. 345 páginas.
- Zilli, F. & M. Gagneten. 2005. Efectos de la contaminación por metales pesados sobre la comunidad bentónica de la cuenca del arroyo Cululú (río salado del norte, Argentina). *Interciencia* 30(3): 159-165.

## XI. ANEXOS

### Anexo 1: Prueba Kruskal-Wallis para Abundancia de individuos (N)

#### Laguna Huaroncocha

#### Temporal

La prueba estadística de Kruskal-Wallis demostró que no existen diferencias significativas entre los tres muestreos evaluados ( $p=0.1725$ ;  $p>0.05$ )

	24/10/15	21/09/16	01/10/17
Lumbriculidae	• 3	2	8
Tubificidae	• 7	1	1
Haplotaxida ND	• 18	1	2
Erpobdellidae	• 0	0	7
Helobdella	• 3	1	0
Dugesia	• 2	7	3
Sphaerium	• 2	3	4
Helisoma	• 4	0	2
Trichoptera ND	• 9	18	0
Podonomus	• 41	0	0
Chironominae(subfamilia)	• 1	0	0
Chironomus	• 65	49	108
Tanypodinae(subfamilia)	• 0	1	0
Hemerodromia	• 3	2	0
Limoniinae (subfamilia)	• 1	0	0
Ectemnostega	• 15	4	16
Trombidiformes ND	• 1	0	0
Hyalella	• 41	29	35
Calanoida ND	• 40	38	13
Cladocera ND	• 20	12	8

One-way ANOVA	Residuals	Tukey's pairwise	Kruskal-Wallis	Mann-Whitney pairwise
---------------	-----------	------------------	----------------	-----------------------

#### Kruskal-Wallis test for equal medians

$H(ch^2)$ : 3.434  
 $H_c$  (tie corrected): 3.515  
 $p$  (same): 0.1725

There is no significant difference between sample medians

## Relavera Milpo Andina

### Temporal

Por su parte, la prueba estadística de Kruskal-Wallis aplicada a la Relavera Milpo Andina demostró que si existen diferencias significativas entre los tres muestreos evaluados ( $p=0.001211$ ;  $p>0.05$ )

	24/10/15	21/09/16	01/10/17
Tubificidae	● 0	2	3
Naididae ND	● 0	8	17
Nematoda ND	● 0	0	0
Sphaerium	● 3	0	1
Chiliniidae ND	● 5	0	0
Dytiscidae ND	● 12	6	0
Austrelmis	● 3	0	3
Culicoides	● 3	2	0
Podonomus	● 3	27	31
Chironominae(subfamilia)	● 0	0	1
Chironomus	● 32	28	0
Orthoclauiinae(subfamilia)	● 31	49	153
Tanypodinae(subfamilia)	● 8	21	5
Hemerodromia	● 11	5	3
Ephydriidae ND	● 8	1	1
Limnophora	● 4	2	3
Gigantodax	● 4	2	1
Simulium	● 4	6	1
Limoniinae (subfamilia)	● 2	3	4
Baetidae ND	● 1	0	2
Ectemnostega	● 54	9	0
isotomidae ND	● 16	3	1
Limnesiidae ND	● 8	4	2
Hyalella	● 10	1	0
Ostracoda ND	● 196	38	0
Indeterminado	● 4	4	0
Cyclopoida ND	● 123	11	0
Calanoida ND	● 4	3	0
Daphniidae ND	● 5	1	0

One-way ANOVA	Residuals	Tukey's pairwise	Kruskal-Wallis	Mann-Whitney pairwise
<p><b>Kruskal-Wallis test for equal medians</b></p> <p><math>H(ch^2)</math>: 13.16</p> <p><math>H_c</math> (tie corrected): 13.43</p> <p><math>p</math> (same): 0.001211</p> <p>There is a significant difference between sample medians</p>				

## Anexo 2: Prueba Kruskal-Wallis para Estructura Comunitaria

## Laguna Huaroncocha

**Laguna Huaroncocha (Abundancias por cada replica en los puntos de muestreo)**

Laguna Huaroncocha						24/10/15																									
						LH-1*				LH-2				LH-3				LH-4				LH-5									
Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Nombre Científico	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	
Annelida	Oligochaeta	Lumbriculida	Lumbricidae	Lumbriculidae	Lumbriculidae sp1	2	1	2	1	2	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	
		Clitellata	Tubificidae	Tubificidae	Tubificidae sp1	3	2	3	2	2	2	1	1	3	3	3	2	1	1	1	2	2	2	0	0	0	0	0	1	0	
		Haplotaxida	Naididae	Haplotaxida ND	Indeterminada	8	2	4	5	2	1	0	4	2	2	1	1	6	5	4	4	4	2	22	1	2	2	2	2	2	
	Hirudinea	Rhynchobdellida	Erbobdellidae	Erbobdellidae	Erbobdellidae sp1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
		Rhynchobdellida	Glossiphoniada	Helobdella	Helobdella	3	0	0	0	2	1	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	2	
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	Dugesia	Dugesia sp	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	
Mollusca	Bivalvia	Veneroida	Sphaeriidae	Sphaerium	Sphaerium sp	1	0	0	11	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae	Helisoma	Helisoma	1	2	1	2	0	0	2	1	0	0	1	2	0	0	1	0	0	1	0	0	2	1	1	1	1	
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hidrotitidae	Trichoptera ND	Indeterminada	2	3	1	2	1	2	1	1	2	3	2	2	2	1	5	4	1	1	1	2	1	2	1	1	2	
		Diptera	Chironomidae	Podonomus	Podonomus	10	12	11	11	10	2	13	8	9	6	10	9	6	8	9	12	11	0	2	5	8	4	5	6	7	
				nominae(subfam	Indeterminada	1	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Chironomus	Chironomus	23	22	11	0	10	21	0	0	11	0	13	0	0	45	42	0	52	14	11	5	8	0	14	17	12	
				podinae(subfam	Indeterminada	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Empididae	Hemerodromia	1	2	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	
		Hemiptera	Corixidae	Ectemnostegia	Ectemnostegia	5	4	6	3	2	1	2	1	0	21	0	5	2	2	1	3	0	1	2	1	4	5	2	2	4	
					ombidiformes N	Indeterminada	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
					Arachnida	Trombidiformes	Limnesiidae	Limnesiidae ND	Indeterminada	32	11	11	9	8	2	2	2	12	20	5	4	8	8	10	5	4	6	5	5	4	2
		Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	Hyalella	Hyalella	20	10	12	15	1	0	10	13	23	12	11	10	9	2	14	5	1	1	11	9	7	4	2	2	
		Maxillopoda	Calanoida	Calanoida ND	Calanoida ND	Indeterminada	32	11	11	9	8	2	2	2	12	20	5	4	8	8	10	5	4	6	5	5	4	2	2		
		Branchiopoda	Cladocera	Daphnidae	Cladocera ND	Indeterminada	10	4	2	0	2	0	20	1	1	1	0	0	0	0	8	7	5	4	2	2	8	9	0	4	

Laguna Huaroncocha						21/09/16																									
						LH-1*					LH-2					LH-3					LH-4					LH-5					
Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Nombre Científico	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	
Annelida	Oligochaeta	Lumbriculida	Lumbriculidae	Lumbriculidae	Lumbriculidae sp1	1	2	1	2	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	
		Clitellata	Tubificidae	Tubificidae	Tubificidae sp1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Haplotaxida	Naididae	Haplotaxida ND	Indeterminada	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Hirudinea	Rhynchobdellida	Erbobdellidae	Erbobdellidae	Erbobdellidae e sp1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	Helobdella	Helobdella	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	Dugesia	Dugesia sp	10	2	0	0	0	11	0	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	8	0	0	0	0	2	0	0	
Mollusca	Bivalvia	Veneroida	Sphaeriidae	Sphaerium	Sphaerium sp	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	
	Gastropoda	Sasomatophora	Planorbidae	Helisoma	Helisoma	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae	Trichoptera ND	Indeterminada	52	2	1	0	0	10	0	2	4	0	3	1	2	2	1	0	0	0	0	4	2	3	0	1	0	
		Diptera	Chironomidae	Podonomus	Podonomus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				nominae(subfam	Indeterminada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Chironomus	Chironomus	10	0	0	0	10	25	52	12	11	0	0	0	12	17	14	11	10	11	0	0	0	10	41	0	0	0
				podinae(subfam	Indeterminada	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
				Hemerodromia	Hemerodromia	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1	2	0
		Tipulidae	oninae (subfam	oninae (subfamili	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
		Hemiptera	Corixidae	Ectemnostegia	Ectemnostegia	2	0	0	2	0	1	0	1	1	1	2	0	2	1	0	1	0	1	0	1	2	2	0	1	0	
		Arachnida	Trombidiformes	Limnidae	Indeterminada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	
		Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	Hyalella	Hyalella	11	10	9	5	10	5	10	8	5	2	2	1	8	2	1	8	12	10	12	5	1	4	3	1	0
	Maxillopoda	Calanoida	Calanoida ND	Calanoida ND	Indeterminada	23	32	41	22	31	2	6	5	2	1	1	2	1	2	1	2	3	2	1	2	2	1	1	1	2	
	Branchiopoda	Cladocera	Daphniidae	Cladocera ND	Indeterminada	2	3	2	1	2	3	2	1	1	2	3	2	1	0	2	0	2	1	0	0	6	5	4	8	0	

Laguna Huaroncocha																																	
						LH-1*		LH-2				LH-3				LH-4				LH-5													
Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Nombre Científico	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5			
Annelida	Oligochaeta	Lumbriculida	Lumbricúlidae	Lumbriculídae	Lumbriculidae sp1	0	1	0	1	0	0	22	2	1	4	5	4	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0		
		Clitellata	Tubificidae	Tubificidae	Tubificidae sp1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	1	1	0	0	0		
		Haplotaxida	Naididae	Haplotaxida ND	Indeterminada	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	1	5	0	1	1	0	0	0		
	Hirudinea	Rhynchobdellida	Erbopbellidae	Erbopbellidae	Erbopbellidae sp1	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	23	2	0	0	0	0	0	0	0		
		Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	Helobdella	Helobdella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	Dugesia	Dugesia sp	0	0	0	0	6	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Mollusca	Bivalvia	Veneroida	Sphaeriidae	Sphaerium	Sphaerium sp	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	1	1	1	2	1	1	1		
	Gastropoda	Caudofoveata	Planorbidae	Helisoma	Helisoma	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hidrotíptiles	Trichoptera ND	Indeterminada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		Diptera	Chironomidae	Podonomus	Podonomus	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
				Podonominae(subfamily)	Indeterminada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
				Chironomus	Chironomus	212	0	2	0	3	10	15	20	10	5	7	36	23	14	25	3	2	33	14	23	12	14	25	24	12	12	12	12
				Chironominae(subfamily)	Indeterminada	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Empidoidea	Hemerodromia	Empididae	Hemerodromia	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Tipulidae	Tipulinae (subfamily)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Hemiptera	Cixiidae	Ectemnostegia	Ectemnostegia	1	0	32	1	0	2	4	5	7	5	6	2	8	2	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		Arachnida	Trombidiformes	Limnesidae	Trombidiformes ND	Indeterminada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	Hyalrella	Hyalrella	1	17	0	20	4	3	1	1	2	1	1	7	76	7	5	3	11	3	2	3	2	1	3	2	3	2	3	
Maxillopoda	Calanoida	Calanoida ND	Calanoida ND	Indeterminada	1	2	45	2	3	1	1	0	0	1	0	1	0	1	2	0	1	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	
Branchiopoda	Cladocera	Daphniidae	Cladocera ND	Indeterminada	9	2	1	2	0	1	2	0	10	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	

## SHANNON- WIENER $H'$ (Log2)

### Temporal

La prueba estadística de Kruskal-Wallis demostró que no existen diferencias significativas entre las tres épocas evaluadas ( $p=0.003698$ ;  $p>0.05$ )

		24/10/15	21/09/16	01/10/17
LHr-1*	●	2.22	1.31	0.95
LHr-2	●	1.83	1.75	1.59
LHr-3	●	1.92	1.66	1.07
LHr-4	●	1.92	1.33	1.25
LHr-5	●	2.06	1.53	0.90

One-way ANOVA	Residuals	Tukey's pairwise	Kruskal-Wallis	Mann-Whitney pairwise
<div><b>Kruskal-Wallis test for equal medians</b>  <math>H(ch^2)</math>: 11.18 <math>H_c</math> (tie corrected): 11.2 <math>p</math> (same): 0.003698  There is a significant difference between sample medians</div>				

## ÍNDICE DE EQUIDAD DE PIELOU (J')

### Temporal

Con la prueba estadística de Kruskal-Wallis se demostró que si existen diferencias significativas entre las tres épocas evaluadas ( $p=0,03817$ ;  $p>0.05$ )

		24/10/15	21/09/16	01/10/17
LHr-1*	●	0.83	0.62	0.54
LHr-2	●	0.74	0.78	0.77
LHr-3	●	0.77	0.79	0.65
LHr-4	●	0.79	0.76	0.65
LHr-5	●	0.84	0.78	0.56

One-way ANOVA	Residuals	Tukey's pairwise	Kruskal-Wallis	Mann-Whitney pairwise	
<b>Kruskal-Wallis test for equal medians</b>					
<i>H</i> ( <i>chi</i> <sup>2</sup> ): 6.485					
<i>H</i> <sub>c</sub> (tie corrected): 6.532					
<i>p</i> (same): 0.03817					
There is a significant difference between sample medians					

## Relavera Milpo Andina

### Relavera Milpo Andina (Abundancias por cada replica en los puntos de muestreo)

Relavera Milpo Andina						24/10/15																												
Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Nombre Científico	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5				
Annelida	Oligochaeta	Lumbriculida	Lumbriculidae	Lumbriculidae	Lumbriculidae sp1	4	2	3	1	2	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1			
		Olellata	Tubificidae	Tubificidae	Tubificidae sp1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
		Haplotaixida	Naididae	Haplotaixida ND	Indeterminada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Nematoda	Nematoda ND	Nematoda ND	Nematoda ND	Nematoda ND	Indeterminada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Mollusca	Bivalvia	Veneroida	Sphaeriidae	Sphaerium	Sphaerium sp	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0			
	Gastropoda	Hygrophila	Chilidae	Hygrophila ND	Indeterminada	2	2	2	1	1	4	2	1	1	2	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0			
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	Coleoptera ND	Indeterminada	6	5	4	4	3	4	2	3	4	4	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1	1			
		Coleoptera	Elmidae	Austrelmis	Austrelmis	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	1	1		
		Diptera	Ceratopogonidae	Culicoides	Culicoides	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0		
		Diptera		Podonomus	Podonomus	1	2	1	2	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0		
		Diptera		oninae(subfam)	Indeterminada	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0		
		Diptera	Chironomidae	Chironomus	Chironomus	5	4	6	8	2	38	25	14	8	5	7	2	0	0	5	4	4	2	4	3	3	3	0	4	4	4	4		
		Diptera		sciadinae(subfam)	Indeterminada	10	8	9	8	8	8	9	11	12	8	7	2	1	8	4	7	8	6	4	3	2	2	4	1	2	1	2		
		Diptera		ypodinae(subfam)	Indeterminada	2	4	3	2	2	1	2	2	0	1	2	2	0	1	2	2	2	2	2	2	2	1	0	1	0	1	0		
		Diptera		Hemerodromia	Hemerodromia	1	4	2	2	3	4	3	4	5	2	3	4	3	5	2	3	4	3	1	1	1	1	0	0	0	1	1		
		Diptera	Ephydriidae	Diptera ND	Indeterminada	1	1	4	5	2	3	2	0	1	2	0	2	1	0	0	4	0	2	4	0	0	0	0	1	2	4	0		
		Diptera	Muscidae	Limnophora	Limnophora	0	1	0	1	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	
		Diptera	Simuliidae	Gigantodax	Gigantodax	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	
		Diptera		Simulium	Simulium	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	2	1	1	1	0	0	0	
		Diptera	Tipulidae	oninae (subfam)	Limoniinae (subfamilia)	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
		Ephemeroptera	Baetidae	phemeroptera N	Indeterminada	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Hemiptera	Corixidae	Ectemnostega	Ectemnostega	5	25	23	20	19	22	15	12	14	12	19	12	11	10	9	6	5	4	5	5	4	3	4	4	4	4	4	4	
		Entognatha	Collembolla	Isotomidae	Collembolla ND	4	2	3	4	4	1	5	6	4	4	4	0	2	4	6	8	4	3	2	1	4	0	2	2	2	2	2	2	
		Arachnida	Trombidiformes	Limnesidae	ombidiformes N	Indeterminada	1	2	3	4	3	3	1	1	2	2	2	0	1	0	0	3	0	0	0	1	1	0	2	0	2	0	2	
		Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	Hyalella	2	6	5	5	4	1	4	5	2	2	1	2	1	0	1	2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	
		Ostracoda	Ostracoda ND	Ostracoda ND	Ostracoda ND	Indeterminada	27	33	16	35	19	8	8	7	5	4	7	5	99	89	88	107	91	75	65	81	94	2	1	5	6	6	6	
		Maxillopoda	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada	1	0	0	1	1	0	1	2	0	1	1	0	4	0	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	
			Cyclopoida	Cyclopoida ND	Cyclopoida ND	Indeterminada	76	36	70	55	68	55	35	22	41	22	14	12	9	41	2	8	9	10	1	2	5	4	6	8	1	1	1	
			Calanoida	Calanoida ND	Calanoida ND	Indeterminada	2	1	2	1	1	0	1	2	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	10	1	0	0	0	1	1	0	0
			Cladocera	Daphniidae	Cladocera ND	Indeterminada	2	2	2	1	3	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	2	2	2	0	1	1	1	1	1	

Relavera Milpo Andina						21/09/16																														
Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Nombre Científico	RMP-1				RMP-2				RMP-3				RMP-4				RMP-5														
Annelida	Oligochaeta	Lumbriculida	Lumbriculidae	Lumbriculidae	Lumbriculidae sp1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		Olethetia	Tubificidae	Tubificidae	Tubificidae sp1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1		
		Haplotaenidia	Naididae	Haplotaenidia ND	Indeterminada	1	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	2	4	2	2	7	8	5	5	5	5		
Nematoda	Nematoda ND	Nematoda ND	Nematoda ND	Nematoda ND	Indeterminada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Mollusca	Bivalvia	Veneroida	Sphaeriidae	Sphaerium	Sphaerium sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Gastropoda	Hydrobia	Chilidae	Hydrobia	Indeterminada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	Coleoptera ND	Indeterminada	1	2	2	1	2	1	1	0	0	1	2	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	2	2	0	0	0		
		Coleoptera	Etmidae	Austrelmis	Austrelmis	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		Diptera	Ceratopogonidae	Culicoides	Culicoides	0	1	1	2	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Diptera		Podonomus	Podonomus	2	4	8	5	4	4	3	3	9	8	9	10	8	9	7	6	5	8	5	8	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Diptera		Limoniinae(subfam)	Indeterminada	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		Diptera	Chironomidae	Chironomus	Chironomus	5	4	5	12	11	12	6	5	5	4	2	4	4	5	6	8	7	9	5	6	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	
		Diptera		Sciadinae(subfam)	Indeterminada	26	45	22	12	21	19	14	21	5	2	4	4	2	2	4	3	2	2	0	1	5	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
		Diptera		Ypodiinae(subfam)	Indeterminada	0	1	2	3	2	8	7	2	5	3	4	2	2	2	1	2	7	8	5	7	7	6	8	5	5	5	5	5	5		
		Diptera		Hemerodromia	Hemerodromia	2	1	1	0	1	1	1	0	0	2	2	2	2	1	2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
		Diptera	Ephydriidae	Diptera ND	Indeterminada	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	
		Diptera	Muscidae	Limnophora	Limnophora	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	
		Diptera	Simuliidae	Gigantodax	Gigantodax	1	1	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Diptera		Simulium	Simulium	1	0	2	0	0	0	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2
		Diptera	Tipulidae	Limoniinae (subfam)	Limoniinae (subfam)	0	1	1	1	0	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	Baetidae	Phemeroptera N	Indeterminada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Hemiptera	Coreidae	Ectemnostegia	Ectemnostegia	3	12	1	5	2	2	1	0	2	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Entognatha	Collembola	Isotomidae	Collembola ND	Indeterminada	1	1	2	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0		
Arachnida	Trombidiformes	Limnidae	Oribatidiformes N	Indeterminada	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	Hyalella	Hyalella	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Ostracoda	Ostracoda ND	Ostracoda ND	Ostracoda ND	Ostracoda ND	25	12	23	12	15	12	14	10	11	9	8	7	5	2	1	2	4	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
Maxillopoda	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada	Indeterminada	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Cyclopoda	Cyclopoda ND	Cyclopoda ND	Indeterminada	2	4	3	2	4	3	4	2	3	4	2	5	5	5	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Calanoida	Calanoida ND	Calanoida ND	Indeterminada	2	0	1	4	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Cladocera	Daphnidae	Cladocera ND	Indeterminada	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		





## ÍNDICE DE EQUIDAD DE PIELOU (J')

### Temporal

Por su parte, la prueba estadística de Kruskal-Wallis aplicada a la Relavera Milpo Andina demostró que si existen diferencias significativas entre las tres épocas evaluadas ( $p=0,0204$ ;  $p>0.05$ )

	24/10/15	21/09/16	01/10/17
RMp-1* ●	0.69	0.74	0.37
RMp-2 ●	0.76	0.82	0.75
RMp-3 ●	0.64	0.88	0.70
RMp-4 ●	0.51	0.88	0.31
RMp-5 ●	0.82	0.88	0.63

One-way ANOVA	Residuals	Tukey's pairwise	Kruskal-Wallis	Mann-Whitney pairwise
<p><b>Kruskal-Wallis test for equal medians</b></p> <p><i>H</i> (<i>chi</i><sup>2</sup>): 7.715 <i>H</i><sub>c</sub> (tie corrected): 7.785 <i>p</i> (same): 0.0204</p> <p>There is a significant difference between sample medians</p>				

## Anexo 3: Análisis multivariado para Abundancia de individuos (N)

### Laguna Huaroncocha

Laguna Huaroncocha						24/09/15					21/09/16					05/10/17							
Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Nombre Científico	LH-1*	LH-2	LH-3	LH-4	LH-5	LH-1*	LH-2	LH-3	LH-4	LH-5	LH-1*	LH-2	LH-3	LH-4	LH-5			
Annelida	Oligochaeta	Lumbriculida	Lumbriculidae	Lumbriculidae	Lumbriculidae	2	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	6	2	0	0		
		Cirratia	Tubificidae	Tubificidae	Tubificidae sp.	2	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
		Haplotaxida	Naididae	Naididae	Indeterminada	4	2	3	7	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0		
	Hirudinea	Hydrobiellid	Ergasilidae	Ergasilidae	Ergasilidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5	0	
		Hydrobiellid	Glossiphoniidae	Helobdella	Helobdella	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Tatyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Planariidae	Dugesia	Dugesia sp.	1	0	1	0	0	2	3	0	2	0	0	2	0	1	0	1	0	
		Planariidae	Sphaeriidae	Sphaerium	Sphaerium sp.	2	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	
Mollusca	Gastropoda	Hydrobiidae	Hydrobiidae	Hydrobia	Hydrobia	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	
		Trichoptera	Hydrobiidae	Trichoptera ND	Indeterminada	2	2	2	2	1	11	3	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Podonomidae	Podonomus	Podonomus	11	8	8	8	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Diptera	Chironomidae	Chironomus	Chironomus	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Diptera	Chironomidae	Chironomus	Chironomus	13	6	20	16	10	4	20	9	6	10	43	12	21	15	17	17	17	
		Diptera	Empididae	Hemerodromia	Hemerodromia	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Diptera	Empididae	Hemerodromia	Hemerodromia	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	
		Diptera	Tipulidae	Limoniae (subfam)	Limoniae (sp)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Hemiptera	Corixidae	Utricularia	Utricularia	4	5	2	1	3	1	1	1	0	1	7	5	4	0	0	0	0	
		Arachnida	Limoniidae	Limoniidae	Limoniidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	Hyalella	Hyalella	12	12	9	5	3	9	6	3	8	3	8	2	19	4	2	2	2	
			Calanoida	Calanoida ND	Calanoida ND	Indeterminada	16	3	10	7	4	30	3	1	2	2	11	1	1	1	0	0	0
			Cyclopoida	Cyclopoida ND	Cyclopoida ND	Indeterminada	4	5	3	4	4	2	2	1	1	6	3	3	1	0	0	0	0
			Cladocera	Cladocera ND	Cladocera ND	Indeterminada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Branchiopoda	Branchiopoda ND	Branchiopoda ND	Indeterminada	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Temporal

La prueba estadística de ANOSIM demostró que si existen diferencias significativas entre las tres fechas evaluadas ( $R=0.4884$ ;  $p=0.0002$ )

Summary	Pairwise	Box plot
<p><b>ANOSIM</b></p> <p><b>Permutation M:</b> 9999</p> <p><b>Mean rank within:</b> 34.68</p> <p><b>Mean rank between:</b> 60.33</p> <p><b>R:</b> 0.4884</p> <p><b>p (same):</b> 0.0002</p>		

## Relavera Milpo Andina

Relavera Milpo Andina						24/09/15					21/09/16					01/10/17									
Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Nombre Científico	RMp-1*	RMp-2	RMp-3	RMp-4	RMp-5	RMp-1*	RMp-2	RMp-3	RMp-4	RMp-5	RMp-1*	RMp-2	RMp-3	RMp-4	RMp-5					
Annelida	Oligochaeta	Lumbricidae	Lumbricidae	Lumbricidae	Lumbricidae sp1	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0					
		Oligochaeta	Tubificidae	Tubificidae	Tubificidae sp1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0	0					
		Hoplostidae	Naididae	Naididae	Naididae ND	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	5	5	3	8	1	0				
Nemertoda	Nemertoda ND	Nemertoda ND	Nemertoda ND	Nemertoda ND	Indeterminada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0					
Bivalvia	Gastropoda	Veneridae	Sphaeriidae	Sphaeriidae	Sphaerium sp	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0				
		Hydrobia	Hydrobia	Hydrobia	Hydrobia ND	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
		Coleoptera	Dytiscidae	Dytiscidae ND	Indeterminada	4	3	2	1	2	2	2	1	0	1	1	1	0	0	0	0				
Arthropoda	Insecta	Diptera	Brachidae	Austrelimn	Austrelimn	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1				
			Ceratopogonidae	Culicoides	Culicoides	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
			Chironomidae	Podonomus	Podonomus	1	1	1	1	0	0	5	5	9	6	2	11	10	10	10	0	0	0		
				Chironomus(su)	Indeterminada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0		
				Chironomus	Chironomus	5	18	3	3	3	7	6	4	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0		
				Orthocladidae	Indeterminada	9	10	4	4	6	2	25	12	3	2	7	114	16	17	3	3	3	3		
				Tanypterus(su)	Indeterminada	3	1	1	2	1	2	5	2	6	6	6	3	2	0	0	0	0	0		
				Hemiptera	Hemiptera	2	4	3	2	0	0	1	1	2	0	0	1	2	1	2	1	0	0	0	
				Ephyrididae	Ephyrididae ND	Indeterminada	3	2	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	
				Muscidae	Limnophora	Limnophora	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	
				Simuliidae	Gigantodot	Gigantodot	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	
				Simulium	Simulium	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	0	0	1	0	0		
			Tipulidae	Tipulidae (su)	Indeterminada	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	0	0			
			Ephemeroptera	Baetidae	Baetidae ND	Indeterminada	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0		
			Hemiptera	Corixidae	Eletmosselgia	Eletmosselgia	18	15	12	5	4	5	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0		
			Eriogonatha	Colobentia	Isotomidae	Isotomidae ND	Indeterminada	3	4	3	4	2	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0		
			Aspidiotia	Thrombidiformes	Limnidae	Limnidae ND	Indeterminada	3	2	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0		
			Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	Hyalellidae	Hyalella	4	3	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0		
			Malacostraca	Decapoda	Ostracoda ND	Ostracoda ND	Indeterminada	26	6	58	84	22	17	11	6	2	2	2	0	0	0	0	0	0	
					Indeterminada	Indeterminada	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
					Cyclopoida ND	Cyclopoida ND	Indeterminada	61	35	16	6	5	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					Calanoida	Calanoida ND	Indeterminada	1	1	0	0	2	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Branchiopoda	Cladocera	Daphniidae	Daphniidae ND	Indeterminada	2	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0				

## Temporal

La prueba estadística de ANOSIM demostró que si existen diferencias significativas entre las tres épocas evaluadas ( $R=0.6227$ ;  $p=0.0001$ )

Summary	Pairwise	Box plot
ANOSIM		
Permutation M:	9999	
Mean rank within:	29.65	
Mean rank between:	62.34	
R:	0.6227	
p (same):	0.0001	

## Anexo 4: Análisis de similitud porcentual (SIMPER) para Abundancia de individuos (N)

### Laguna Huaroncocha

SIMPER

Similarity Percentages - species contributions

One-Way Analysis

Data worksheet

Name: Data1

Data type: Abundance

Sample selection: All

Variable selection: All

Parameters

Resemblance: S17 Bray Curtis similarity

Cut off for low contributions: 90,00%

Factor Groups

Sample	Muestreo
LHr-1*(I)	2015
LHr-2(I)	2015
LHr-3(I)	2015
LHr-4(I)	2015
LHr-5(I)	2015
LHr-1*(II)	2016
LHr-2(II)	2016
LHr-3(II)	2016
LHr-4(II)	2016
LHr-5(II)	2016
LHr-1*(III)	2017
LHr-2(III)	2017
LHr-3(III)	2017
LHr-4(III)	2017
LHr-5(III)	2017

Group 2015					
Average similarity: 77,91					
Species	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Chironomus	3.54	13.08	5.17	16.79	16.79
Podonomus	2.85	11.51	8.52	14.78	31.57
Hyalella	2.78	9.77	4.88	12.54	44.1
Calanoida ND	2.71	9.09	5.58	11.67	55.77
Daphniidae ND	1.99	8.2	5.75	10.53	66.3
Naididae ND	1.84	6.59	7.64	8.45	74.75
Ectemnostega	1.68	5.86	3.85	7.52	82.27
Hidroptilidae ND	1.33	5.34	6.27	6.85	89.12
Tubificidae	1.05	2.92	1.14	3.75	92.88

Group 2016					
Average similarity: 65,44					
Species	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Chironomus	3.02	17.73	3.17	27.09	27.09
Hyalella	2.35	13.88	5.19	21.21	48.3
Calanoida ND	2.21	8.9	6.04	13.61	61.9
Hidroptilidae ND	1.69	8.06	5.17	12.32	74.23
Daphniidae ND	1.46	7.84	6.76	11.99	86.21
Ectemnostega	0.8	4.01	1.12	6.13	92.34

Group 2017					
Average similarity: 57,77					
Species	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Chironomus	4.52	27.96	4.59	48.39	48.39
Hyalella	2.4	11.96	4.22	20.69	69.09
Daphniidae ND	1.09	4.74	1.12	8.21	77.3
Sphaerium	0.8	4.39	1.12	7.61	84.9
Ectemnostega	1.38	3.77	0.62	6.53	91.44

Groups 2015 & 2016					
Average dissimilarity = 41,84					
	Group 2015	Group 2016			

Species	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
Podonomus	2.85	0	7.62	7.8	18.22	18.22
Naididae ND	1.84	0.2	4.46	2.28	10.65	28.87
Calanoida ND	2.71	2.21	4.07	1.7	9.74	38.61
Chironomus	3.54	3.02	2.59	1.5	6.19	44.8
Tubificidae	1.05	0.2	2.46	1.56	5.88	50.68
Ectemnostega	1.68	0.8	2.38	1.33	5.68	56.36
Dugesia	0.4	0.91	2.2	1.22	5.27	61.63
Hyalella	2.78	2.35	2.14	1.39	5.13	66.76
Helisoma	0.8	0	2.11	1.83	5.05	71.8
Daphniidae ND	1.99	1.46	2	1.99	4.79	76.59
Hemerodromia	0.6	0.28	1.7	1.19	4.05	80.64
Sphaerium	0.28	0.6	1.63	1.23	3.9	84.54
Hidroptilidae ND	1.33	1.69	1.52	0.93	3.64	88.18
Helobdella	0.6	0.2	1.48	1.07	3.53	91.71
Groups 2015 & 2017						
Average dissimilarity = 49,04						
	Group 2015		Group 2017			
Species	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
Podonomus	2.85	0	7.7	7.48	15.7	15.7
Calanoida ND	2.71	1.06	5.28	1.9	10.76	26.46
Naididae ND	1.84	0.28	4.24	1.9	8.64	35.1
Hidroptilidae ND	1.33	0	3.6	5.67	7.35	42.45
Chironomus	3.54	4.52	3.21	1.13	6.54	48.99
Hyalella	2.78	2.4	3.16	1.53	6.44	55.43
Ectemnostega	1.68	1.38	3	1.39	6.13	61.56
Daphniidae ND	1.99	1.09	2.56	1.3	5.22	66.77
Tubificidae	1.05	0.2	2.44	1.58	4.97	71.74
Lumbriculidae	0.48	0.77	2.24	0.98	4.57	76.31
Sphaerium	0.28	0.8	2.11	1.7	4.3	80.62
Erpobdellidae	0	0.73	1.93	0.75	3.94	84.56
Helobdella	0.6	0	1.56	1.15	3.18	87.74
Hemerodromia	0.6	0	1.56	1.15	3.18	90.92
Groups 2016 & 2017						
Average dissimilarity = 44,22						
	Group 2016		Group 2017			
Species	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	Cum.%
Calanoida ND	2.21	1.06	5.92	1.27	13.39	13.39
Hidroptilidae ND	1.69	0	5.79	2.59	13.08	26.47
Chironomus	3.02	4.52	5.75	1.55	13.01	39.47
Ectemnostega	0.8	1.38	4.25	2.07	9.61	49.08
Hyalella	2.35	2.4	3.6	1.29	8.14	57.23
Lumbriculidae	0.4	0.77	2.93	1.03	6.61	63.84
Dugesia	0.91	0.48	2.89	1.14	6.53	70.37
Erpobdellidae	0	0.73	2.54	0.74	5.74	76.11
Daphniidae ND	1.46	1.09	2.5	1.09	5.66	81.77
Sphaerium	0.6	0.8	1.73	0.84	3.9	85.67
Naididae ND	0.2	0.28	1.43	0.67	3.23	88.9
Helisoma	0	0.4	1.37	0.79	3.1	92

## Relavera Milpo Andina

SIMPER  
 Similarity Percentages - species contributions  
 One-Way Analysis  
 Data worksheet  
 Name: Data2  
 Data type: Abundance  
 Sample selection: All  
 Variable selection: All  
 Parameters  
 Resemblance: S17 Bray Curtis similarity  
 Cut off for low contributions: 90,00%

### Factor Groups

Sample	Muestreos
RMp-1*(I)	2015
RMp-2(I)	2015
RMp-3(I)	2015
RMp-4(I)	2015
RMp-5(I)	2015
RMp-1*(II)	2016
RMp-2(II)	2016
RMp-3(II)	2016
RMp-4(II)	2016
RMp-5(II)	2016
RMp-1*(III)	2017
RMp-2(III)	2017
RMp-3(III)	2017
RMp-4(III)	2017
RMp-5(III)	2017

### Group 2015

Average similarity: 71,74

Species	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Ostracoda ND	5.8	11.56	2.3	16.11	16.11
Cyclopoida ND	4.48	8.06	3.34	11.23	27.34
Ectemnostega	3.16	6.86	5.08	9.56	36.91
Orthoclaadiinae(subfamilia)	2.41	5.24	5.71	7.3	44.21
Chironomus	2.33	4.89	8.28	6.82	51.03
Collembolla ND	1.78	4.45	11.2	6.2	57.23
Coleoptera ND	1.51	3.52	4.59	4.9	62.13
Hyalella	1.35	2.93	5.88	4.08	66.21
Tanypodinae(subfamilia)	1.23	2.86	7.11	3.98	70.19
Diptera ND	1.23	2.85	7.84	3.98	74.17
Trombidiformes ND	1.23	2.85	7.84	3.98	78.15
Hemerodromia	1.31	2.21	1.14	3.08	81.23
Gigantodax	0.8	1.77	1.15	2.46	83.69
Limnophora	0.8	1.7	1.14	2.37	86.06
Simulium	0.8	1.7	1.14	2.37	88.42
Cladocera ND	0.88	1.66	1.14	2.31	90.73

### Group 2016

Average similarity: 68,51

Species	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Chironomus	2.35	8.87	8.39	12.95	12.95
Podonomus	2.27	7.98	3.78	11.66	24.6
Orthoclaadiinae(subfamilia)	2.85	7.95	3.34	11.61	36.21
Ostracoda ND	2.54	7.4	2.95	10.8	47.01
Tanypodinae(subfamilia)	1.99	6.99	3.32	10.21	57.22
Coleoptera ND	1.08	4.13	10.65	6.03	63.25
Simulium	1.08	4.13	10.65	6.03	69.28
Ectemnostega	1.25	4.13	10.65	6.03	75.31
Cyclopoida ND	1.29	3.36	1.08	4.91	80.22
Trombidiformes ND	0.8	2.65	1.16	3.86	84.09
Hemerodromia	0.88	2.41	1.15	3.52	91.19

### Group 2017

Average similarity: 37,68

Species	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Orthoclaadiinae(subfamilia)	4.45	21.02	1.39	55.78	55.78

Haplotaxida ND	1.56	5.27	1.15	13.99	69.77	
Podonomus	1.93	4.54	0.62	12.04	81.81	
Limnophora	0.6	1.43	0.62	3.81	85.62	
Limoniinae (subfamilia)	0.68	1.43	0.62	3.81	89.43	
Austrelmis	0.48	0.86	0.32	2.28	91.71	
Groups 2015 & 2016						
Average dissimilarity = 42,99						
	Group 2015	Group 2016				
Species	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	
Ostracoda ND	5.8	2.54	5.8	1.45	13.5	Cum.%
Cyclopoida ND	4.48	1.29	4.93	1.54	11.46	13.5
Ectemnostega	3.16	1.25	3.1	2.15	7.21	24.96
Podonomus	0.6	2.27	2.88	1.86	6.69	32.17
Orthoclaadiinae(subfamilia)	2.41	2.85	1.97	1.27	4.57	38.87
Collembolla ND	1.78	0.6	1.93	2.15	4.48	43.44
Hyalella	1.35	0.2	1.84	2.1	4.29	47.92
Diptera ND	1.23	0.2	1.65	2.18	3.84	52.21
Haplotaxida ND	0	0.93	1.53	1.03	3.56	56.05
Tanypodinae(subfamilia)	1.23	1.99	1.4	1.49	3.25	59.61
Chironomus	2.33	2.35	1.33	1.34	3.09	62.86
Hemerodromia	1.31	0.88	1.32	1.38	3.07	65.95
Cladocera ND	0.88	0.2	1.24	1.46	2.89	69.02
Hygrophila ND	0.77	0	1.16	1.18	2.71	71.91
Calanoida ND	0.68	0.48	1.06	1.1	2.47	74.62
Gigantodax	0.8	0.4	0.97	1.08	2.26	77.09
Limnophora	0.8	0.4	0.96	1.08	2.24	79.35
Austrelmis	0.6	0	0.94	1.19	2.19	81.58
Sphaerium	0.6	0	0.92	1.19	2.14	83.77
Lumbriculidae	0.48	0.4	0.91	1.01	2.12	85.91
Culicoides	0.6	0.4	0.89	0.99	2.07	88.03
						90.09
Groups 2015 & 2017						
Average dissimilarity = 79,47						
	Group 2015	Group 2017				
Species	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	
Ostracoda ND	5.8	0	12.26	2.08	15.43	Cum.%
Cyclopoida ND	4.48	0	8.83	2.49	11.11	15.43
Ectemnostega	3.16	0	6.4	3.79	8.06	26.54
Chironomus	2.33	0	4.79	2.34	6.03	34.6
Orthoclaadiinae(subfamilia)	2.41	4.45	4.79	0.96	6.03	40.63
Podonomus	0.6	1.93	3.37	1.56	4.24	46.65
Collembolla ND	1.78	0.2	3.37	2.5	4.24	50.9
Coleoptera ND	1.51	0	3.14	3.32	3.95	55.13
Haplotaxida ND	0	1.56	2.92	1.65	3.67	59.08
Hyalella	1.35	0	2.73	3.36	3.44	62.75
Diptera ND	1.23	0.2	2.16	1.93	2.72	66.19
Hemerodromia	1.31	0.48	2.12	1.31	2.67	68.91
Tanypodinae(subfamilia)	1.23	0.63	1.98	1.62	2.49	71.59
Cladocera ND	0.88	0	1.84	1.68	2.32	74.07
Trombidiformes ND	1.23	0.4	1.82	1.34	2.28	76.39
Gigantodax	0.8	0.2	1.54	1.27	1.94	80.62
Simulium	0.8	0.2	1.51	1.26	1.9	82.56
Hygrophila ND	0.77	0	1.43	1.14	1.8	84.46
Culicoides	0.6	0	1.37	1.09	1.72	86.26
Calanoida ND	0.68	0	1.31	1.07	1.64	87.98
Austrelmis	0.6	0.48	1.23	1.06	1.54	89.62
						91.16
Groups 2016 & 2017						
Average dissimilarity = 67,87						
	Group 2016	Group 2017				
Species	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD	Contrib%	
Ostracoda ND	2.54	0	7.01	2.2	10.33	Cum.%
Chironomus	2.35	0	6.62	3.28	9.75	10.33
Orthoclaadiinae(subfamilia)	2.85	4.45	6.41	1.09	9.44	20.08
Podonomus	2.27	1.93	4.67	1.24	6.88	29.52
Tanypodinae(subfamilia)	1.99	0.63	4.4	1.34	6.49	36.4
Cyclopoida ND	1.29	0	3.66	1.49	5.4	42.89

Ectemnostega	1.25	0	3.41	2.62	5.02	48.29
Haplotaxida ND	0.93	1.56	3.13	1.35	4.61	53.31
Coleoptera ND	1.08	0	3.03	3.62	4.46	57.92
Simulium	1.08	0.2	2.62	1.68	3.85	62.38
Hemerodromia	0.88	0.48	2.07	1.12	3.05	69.55
Trombidiformes ND	0.8	0.4	1.79	1.02	2.63	72.6
Collembolla ND	0.6	0.2	1.62	1.01	2.38	75.23
Limoniinae (subfamilia)	0.6	0.68	1.57	1.02	2.32	77.61
Tubificidae	0.4	0.48	1.53	0.96	2.26	79.93
Austrelmis	0	0.48	1.38	0.79	2.04	82.19
Limnophora	0.4	0.6	1.37	0.98	2.02	84.22
Calanoida ND	0.48	0	1.24	0.76	1.82	86.24
Lumbriculidae	0.4	0	1.18	0.75	1.74	88.06
Gigantodax	0.4	0.2	1.14	0.83	1.68	89.8
						91.48



**Anexo 5: Familias de invertebrados bentónicos presentes en Laguna Huaroncocha y relavera Milpo Andina.**



Familia Planariidae



Clase Hexanauplia



Familia Cyprididae



Familia Corixidae



Familia Daphniidae



Familia Dytiscidae



Familia Empididae



Familia Hyalellidae



Familia Sphaeriidae



Familia Chironomidae



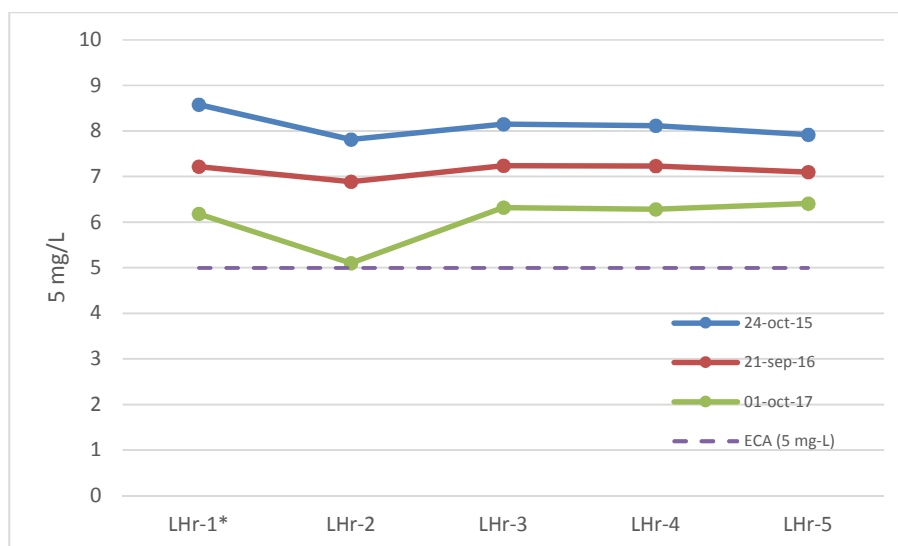
Phylum Nematoda



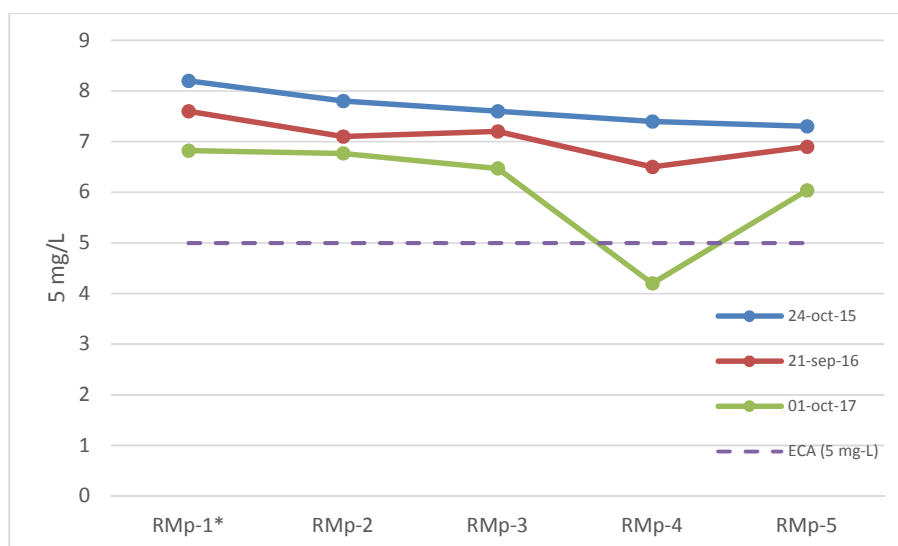
Familia Limnesiidae

## Anexo 6: Caracterización fisicoquímica del agua

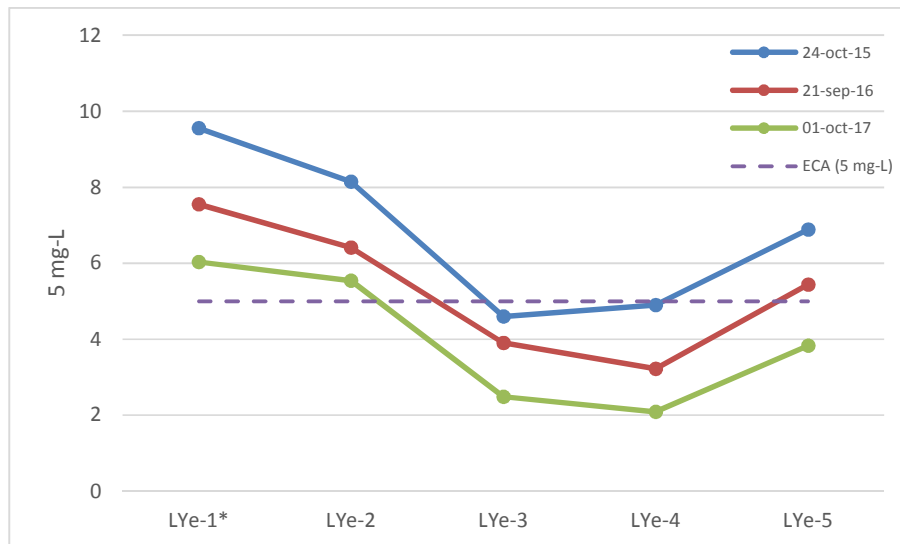
### Oxígeno disuelto (OD)



Oxígeno Disuelto (OD) en las estaciones evaluadas en Laguna Huaroncocha para el muestreo (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017). ECA=Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

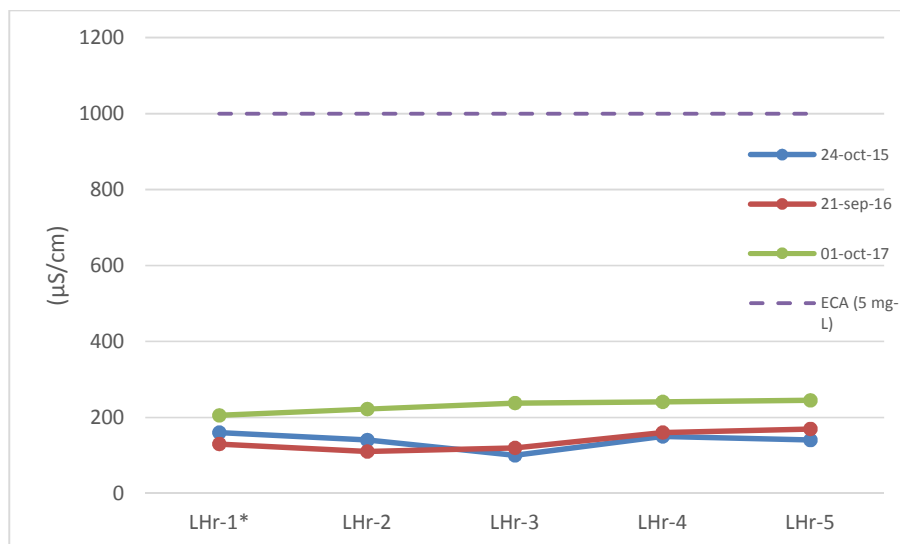


Oxígeno Disuelto (OD) en las estaciones evaluadas en Relavera Milpo Andina para el muestreo (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017). ECA=Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

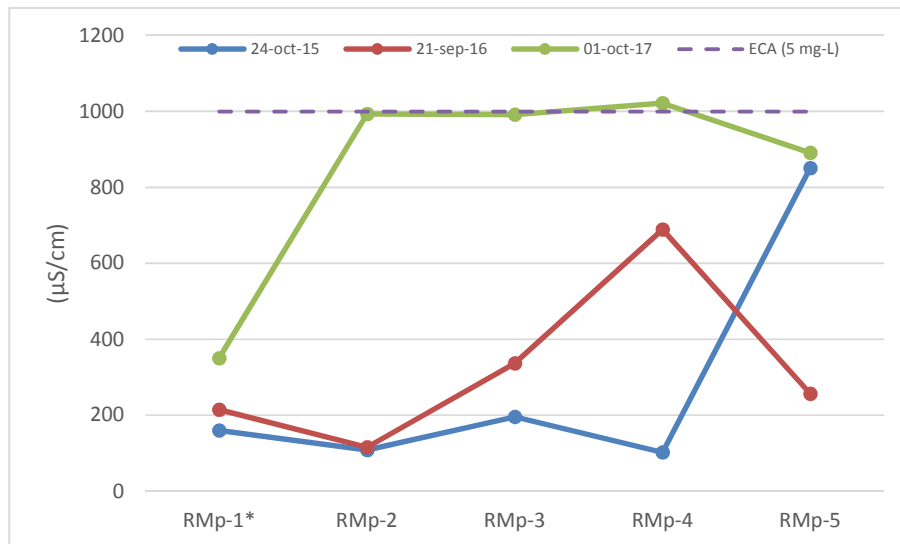


Oxígeno Disuelto (OD) en las estaciones evaluadas en Laguna Yanamate para el muestreo (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017). ECA=Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

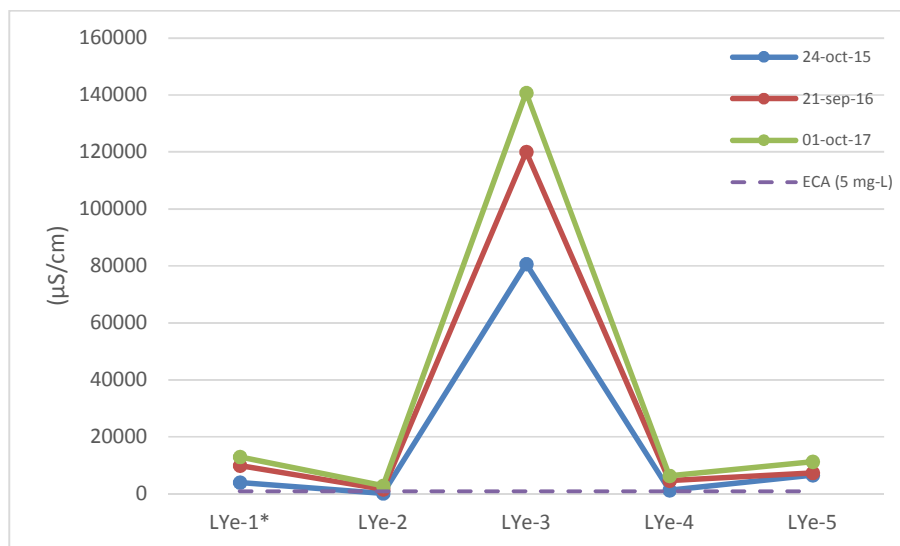
*Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )*



Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en las estaciones evaluadas en Laguna Huaroncocha para el muestreo (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017). ECA=Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.



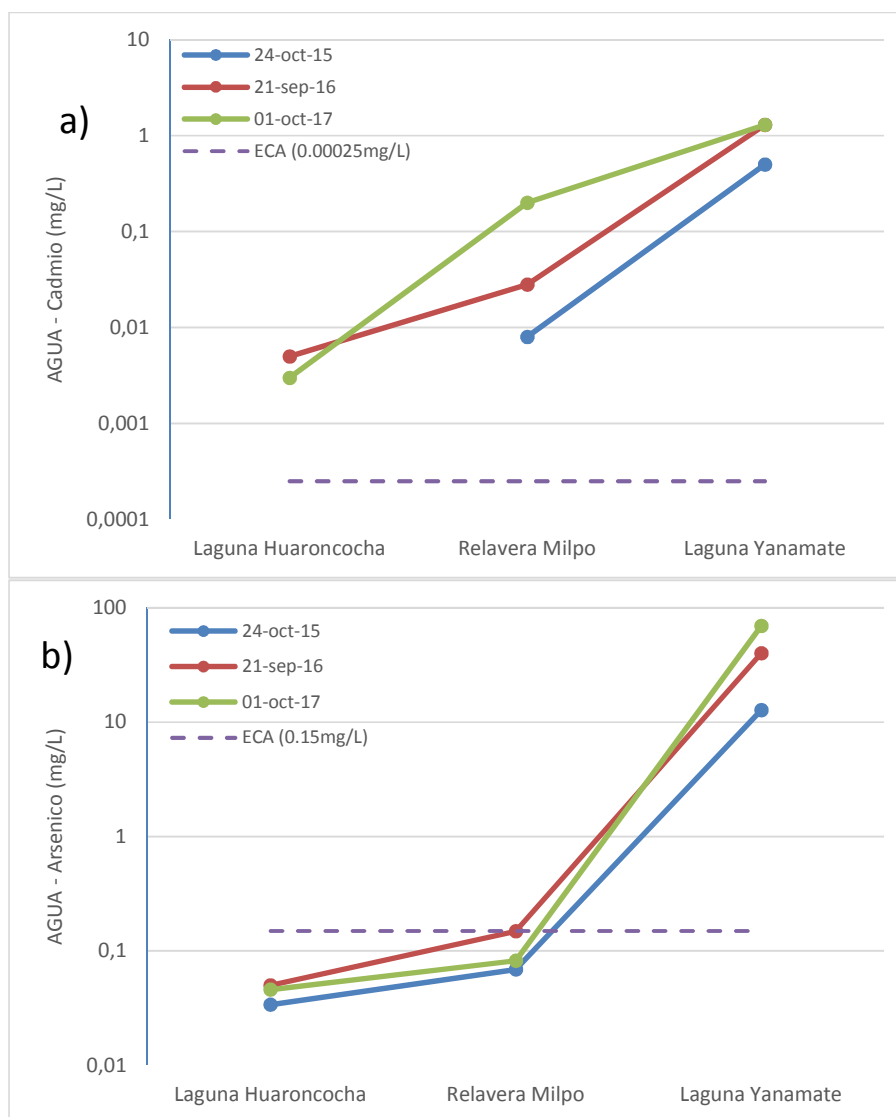
Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ ) en las estaciones evaluadas en Relavera Milpo Andina para el muestreo (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017). ECA=Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.



Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ ) en las estaciones evaluadas en Laguna Yanamate para el muestreo (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017). ECA=Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

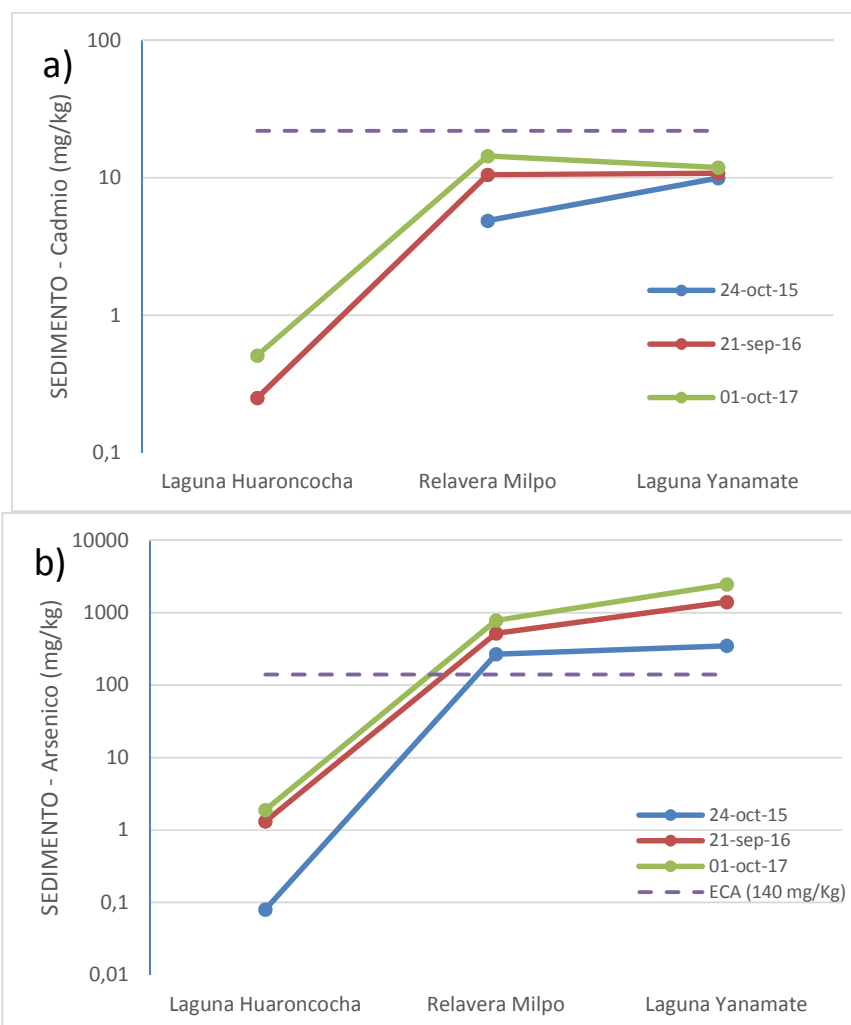
## Anexo 7: Concentración de metales pesados

### Metales en Agua



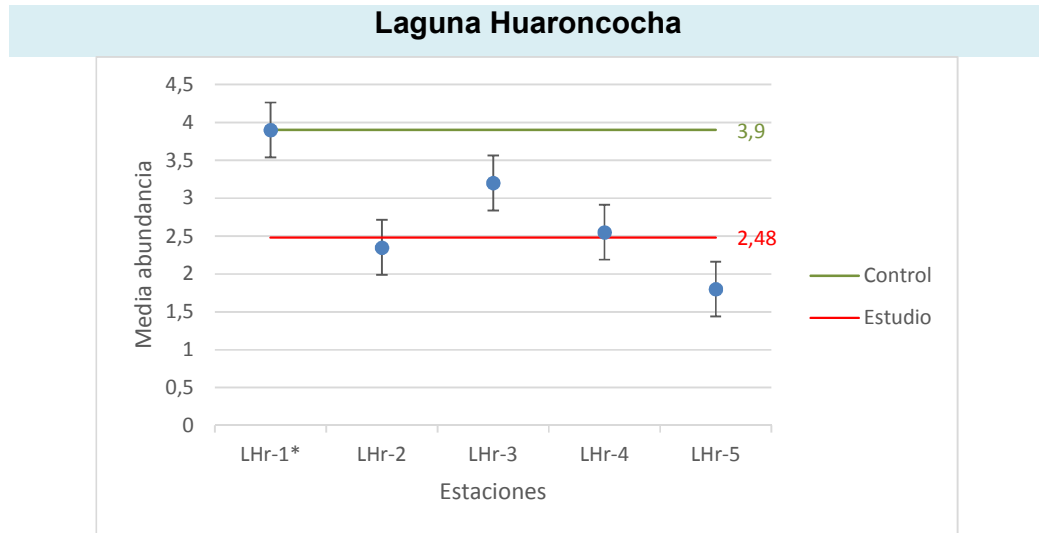
Concentración de a) Cadmio y b) Arsénico en aguas de las lagunas evaluadas para los muestreos (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017). ECA=Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

## Metales en Sedimento

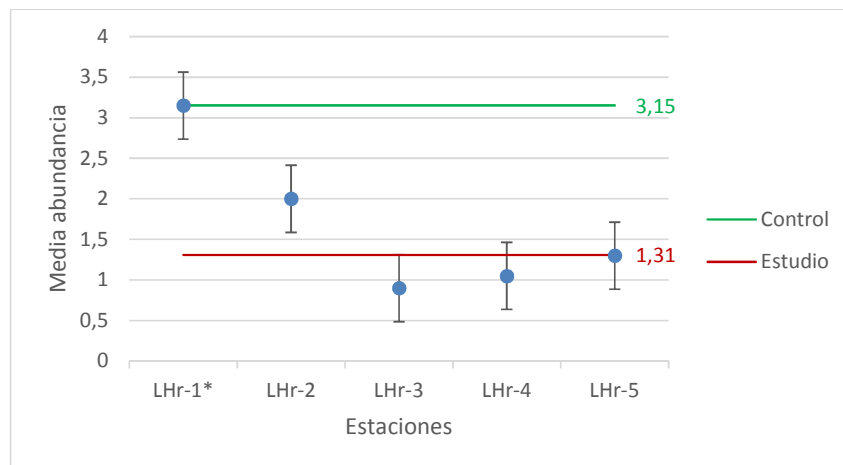


Concentración de a) Cadmio y b) Arsénico en sedimentos de las lagunas evaluadas para los muestreos (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017). ECA=Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Suelo.

**Anexo 8: Variación de la abundancia entre las estaciones de muestreo en (octubre 2015), (setiembre 2016) y (octubre 2017).**

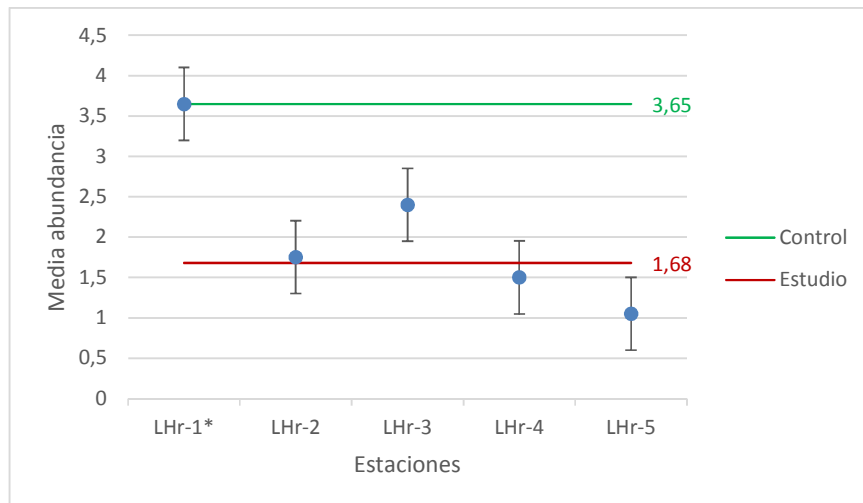


Variación de la abundancia entre las estaciones de muestreo en la Laguna Huaroncocha en Oct-15 Las barras verticales representan el error de la media, líneas horizontales: Medias de abundancia.



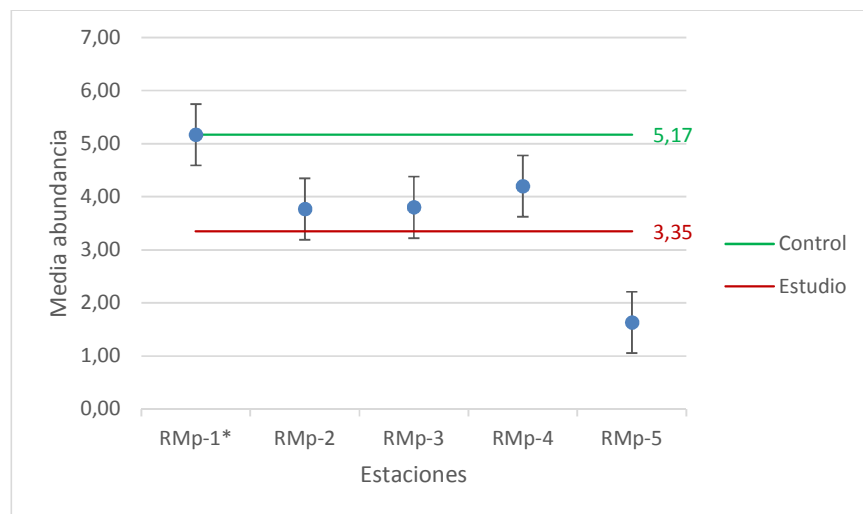
Variación de la abundancia entre las estaciones de muestreo en la Laguna Huaroncocha en Set-16 Las barras verticales representan el error de la media, líneas horizontales: Medias de abundancia.



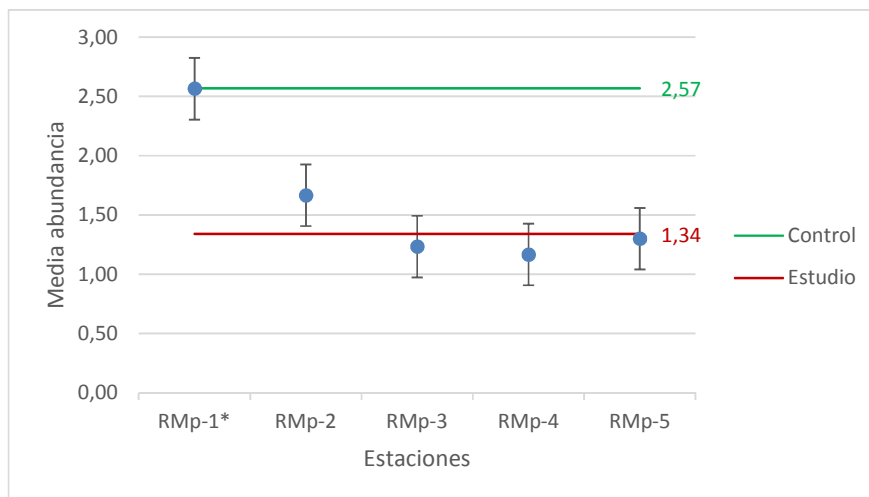


Variación de la abundancia entre las estaciones de muestreo en la Laguna Huaroncocha en Oct-17. Las barras verticales representan el error de la media, líneas horizontales: Medias de abundancia.

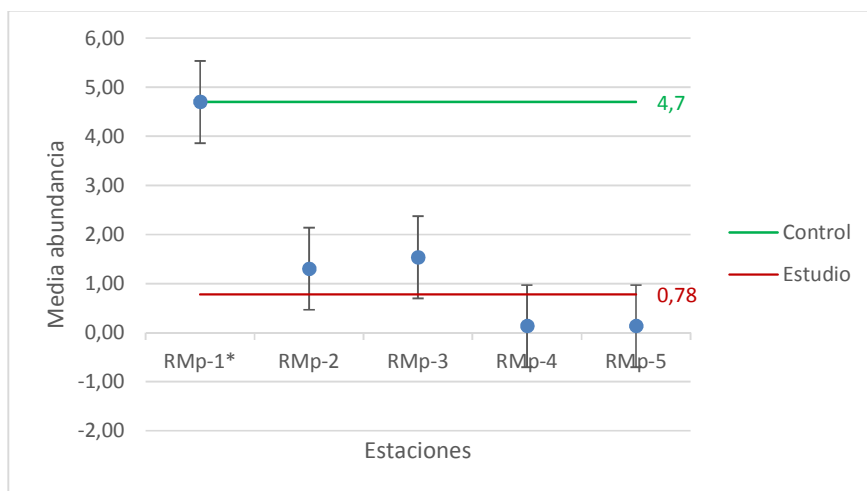
### Relavera Milpo Andina



Variación de la abundancia entre las estaciones de muestreo en la Relavera Milpo Andina en Oct-15. Las barras verticales representan el error de la media, líneas horizontales: Medias de abundancia.



Variación de la abundancia entre las estaciones de muestreo en la Relavera Milpo Andina en Set-16 Las barras verticales representan el error de la media, líneas horizontales: Medias de abundancia.



Variación de la abundancia entre las estaciones de muestreo en la Relavera Milpo Andina en Oct-17 Las barras verticales representan el error de la media, líneas horizontales: Medias de abundancia.

### Laguna Yanamate

No reporto valores de abundancia para ninguna estación de muestreo de las fechas evaluadas